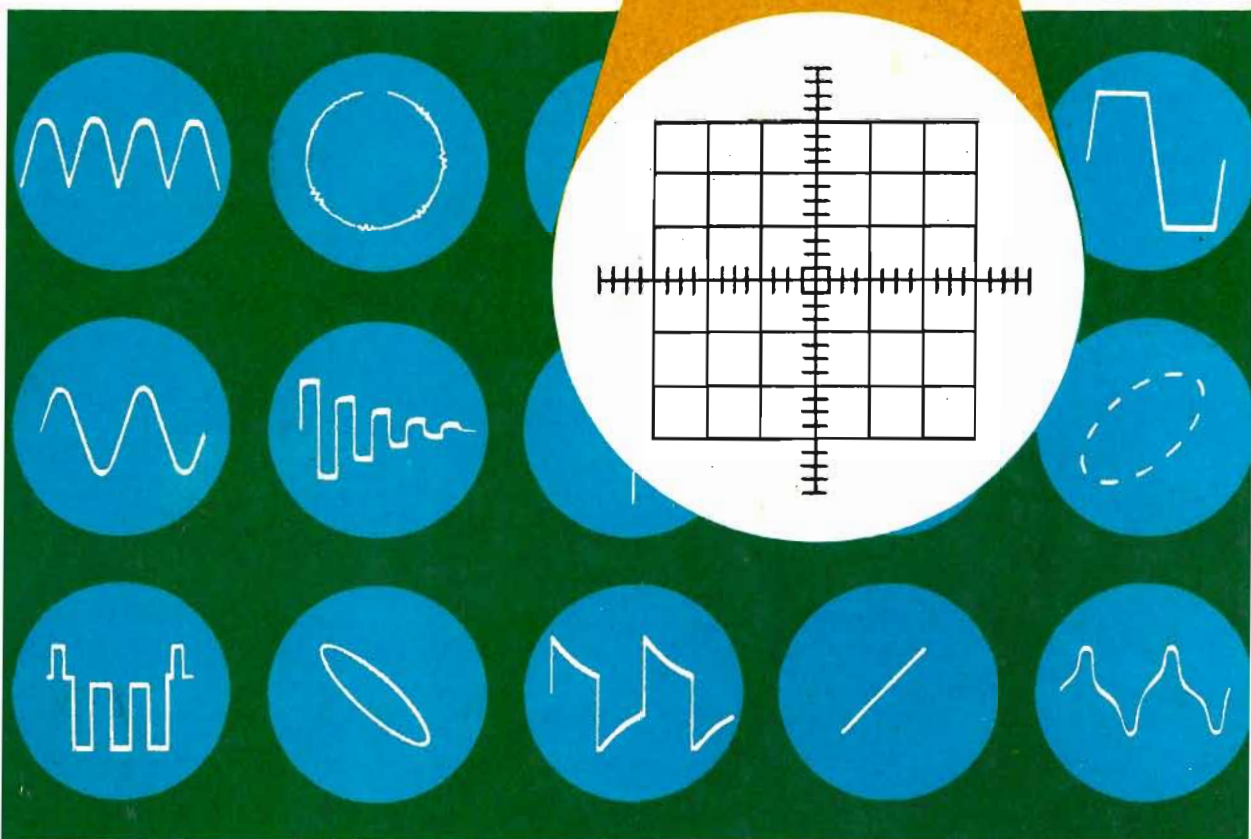
A.C.J. Beerens - A.W.N. Kerkhofs

101 ESPERIMENTI CON L'OSCILLOSCOPIO

BIBLIOTECA
TECNICA
PHILIPS

EDIZIONI C.E.L.I.

BIBLIOTECA TECNICA PHILIPS

101 Esperimenti con l'Oscilloscopio

A. C. J. Beerens - A. W. N. Kerkhofs

2ª Edizione

1 9 7 1

EDIZIONI - **C.E.L.I.** - BOLOGNA

VIA GANDINO, 1

PREFAZIONE

L'oscilloscopio a raggi elettronici è uno dei più versatili apparecchi di misura che ci sia dato immaginare.

Le sue possibilità di impiego sono quasi illimitate.

Inizialmente, l'oscilloscopio veniva considerato come apparecchio di misura da laboratorio, poi, in seguito ai progressi della tecnica, esso da alcuni decenni è divenuto uno strumento indispensabile nei moderni laboratori. Anche l'insegnamento odierno sarebbe appena concepibile senza l'oscilloscopio.

Il grande vantaggio dell'oscilloscopio a raggi catodici rispetto agli apparati di misura elettromeccanici, come voltmetri ed amperometri, sta nelle sue alte prestazioni.

L'oscilloscopio può essere definito come « tracciatore di curve » universale, a grande prontezza. « Universale » poichè il suo impiego non è solo limitato alle grandezze elettriche; si possono osservare anche grandezze non elettriche. In questo caso si usano i cosiddetti « trasduttori » con i quali si ottengono ad esempio, da grandezze non elettriche, proporzionali tensioni elettriche. Con l'ausilio di apparati ausiliari (commutatori elettronici) si possono avere sullo schermo anche diversi oscillogrammi contemporaneamente, quando non viene usato un oscilloscopio a molte tracce.

Per quanto concerne la struttura del presente manuale, vengono trattate successivamente: la costituzione complessiva, le prestazioni e le caratteristiche dell'oscilloscopio e delle apparecchiature ausiliarie.

Segue una serie di dati tecnici.

Successivamente sono descritti 101 esperimenti con l'oscilloscopio. La cifra di 101 serve ad indicare che tale raccolta di esperimenti non pretende di essere completa, ma è scelta tra una quantità quasi illimitata di possibili esperimenti. Da ciò non si deve desumere però che la scelta sia stata eseguita a caso, senza alcun criterio di selezione.

Al contrario: si è cercato di rendere gradualmente familiare il lettore con l'organizzazione di semplici misure, come pure con l'uso e le possibilità di impiego degli oscilloscopi.

Inoltre il lettore potrà eseguire per conto proprio una serie di facili esperimenti; esperimenti che ai più esperti in materia possono forse apparire di poca utilità.

Tuttavia, crediamo che proprio gli esperimenti semplici costituiscano la base indispensabile per gli studi successivi che il lettore potrà compiere.

Allo scopo di poterci rivolgere ad una più ampia cerchia di lettori, sono stati scelti preferibilmente esperimenti che richiedono l'ausilio di poche apparecchiature ausiliarie.

Circa il 25 % degli esperimenti possono essere eseguiti avendo a disposizione solo una tensione continua e una tensione alternata variabile.

In ogni laboratorio si trova almeno un generatore BF ed un amplificatore: con tali apparati si può eseguire la metà degli esperimenti.

Se si dispone inoltre di un generatore ad onda quadra, allora diverranno eseguibili altri 25 esperimenti. Per i rimanenti esperimenti occorreranno alcune apparecchiature ausiliarie facilmente reperibili.

Per ogni esperimento verrà fornita, oltre al circuito da realizzare per effettuare la misura e alla descrizione delle modalità di esecuzione dell'esperimento, una breve spiegazione della misura, redatta sinteticamente. In alcuni casi tale spiegazione sarà sufficiente; nella maggior parte dei casi essa costituirà per il lettore uno stimolo per studiare i fondamenti del relativo esperimento.

Appunto per tale motivo, il presente manuale è particolarmente adatto per l'insegnamento tecnico moderno, come pure per l'autodidatta e per il tecnico di laboratorio, che potrà con esso prendere maggiore dimestichezza con l'uso dell'oscilloscopio.

INDICE

PARAGRAFO I.

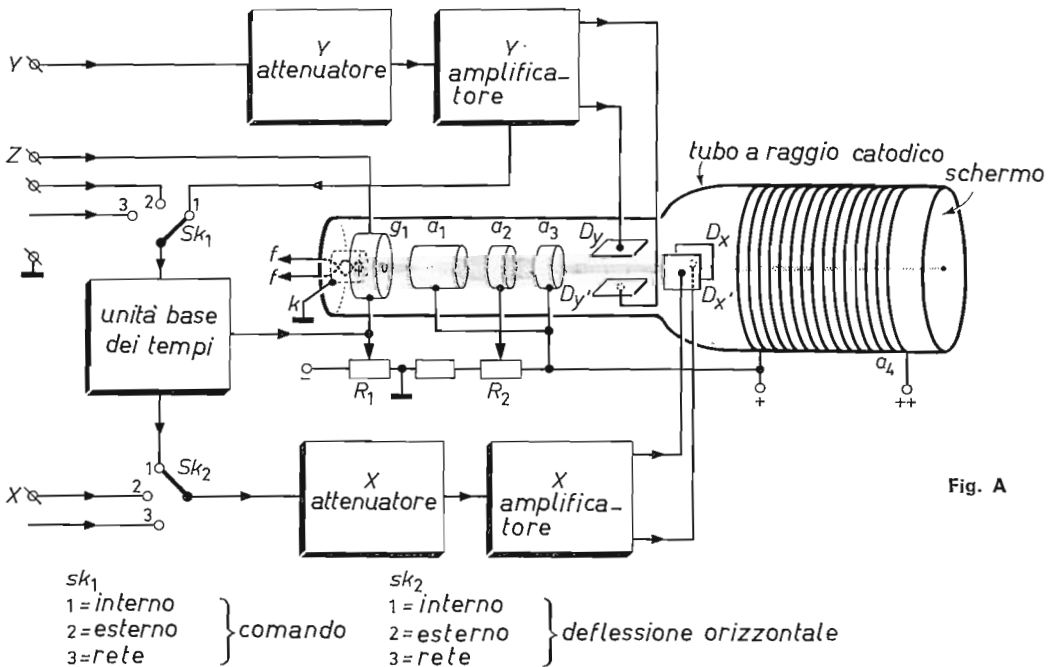
L' OSCILLOSCOPIO A RAGGIO CATODICO E LE APPARECCHIATURE AUSILIARIE

1. - L' oscilloscopio a raggio catodico.

I componenti principali di un oscilloscopio a raggio catodico sono:

a) il tubo a raggio catodico;
b) l'amplificatore *Y* con attenuatore;
c) l'amplificatore *X* con attenuatore;
d) l'unità per la base dei tempi.

La Fig. *A* mostra lo schema a blocchi semplificato di un tipo comune di oscilloscopio. Ciascun blocco verrà descritto in seguito.

Fig. A

a) Il tubo a raggio catodico.

Il tubo a raggio catodico consiste di un bulbo di vetro sagomato a campana nel quale è stato fatto il vuoto. Lo stretto collo contiene i vari elettrodi, mentre l'estremità più larga è chiusa da una lastra di vetro quasi piana con un sottile strato di materiale fosforescente depositato internamente. Questo schermo si allumina quando viene bombardato dagli elettroni; il colore del puntino luminoso di solito è verde (in qualche caso è blu). L'intensità della luce dipende dal numero di elettroni e dalla velocità con cui essi colpiscono lo schermo. Gli elettroni sono ottenuti per emissione termica dal catodo k, che viene riscaldato dal riscaldatore f-f.

Un tubo metallico cilindrico g_1 (il cilindro di Wehnelt), posto immediatamente davanti al catodo, è polarizzato con una tensione negativa rispetto al catodo. La regolazione di questa tensione mediante R_1 agisce sul numero di elettroni (negativi) respinti dal cilindro di Wehnelt: quanto più grande è questa tensione negativa, tanto minore è il numero di elettroni che passano attraverso il cilindro. In questo modo si può controllare l'intensità del puntino luminoso sullo schermo (R_1 = *controllo di luminosità* o *di intensità*).

È anche possibile regolare esternamente la luminosità. Ciò viene ottenuto mediante il terminale indicato con Z. Se a Z viene applicata una tensione alternata, la velocità degli elettroni varia corrispondentemente con questa tensione (*modulazione di luminosità*). Se però si vuole interdire completamente il pennello di elettroni, sicchè lo schermo non emetta assolutamente luce, si deve avere una tensione di alcune decine di volt (vedi ad esempio esperimenti 85 e 86).

Il cilindro di Wehnelt è seguito da 3 elettrodi cilindrici (a_1, a_2 e a_3); questi sono polarizzati con un'alta tensione positiva rispetto al catodo e perciò attirano gli elettroni attraverso il cilindro di Wehnelt e li accelerano. Grazie alla loro particolare forma, questi elettrodi non intercettano gli elettroni, che così li attraversano con elevata velocità. Questi anodi non hanno tutti la stessa tensione: la tensione di a_2 è di alcune centinaia di volt più bassa rispetto a quelle di a_1 e a_3. Questa differenza di potenziale influisce sul tragitto degli elettroni, in modo da farli convergere su un solo punto.

La combinazione di a_1, a_2, a_3 agisce perciò come una lente elettronica. Variando la tensione tra a_2 e a_1-a_3 mediante R_2, si può spostare il fuoco di questa lente, così da ottenere un piccolo punto luminoso sullo schermo (R_2 = *controllo del fuoco*).

La tensione media delle placchette di deflessione D_x–$D_{x'}$ e D_y–$D_{y'}$ è circa uguale a quella di a_3, sicchè la velocità degli elettroni rimane

inalterata. Tuttavia la differenza di potenziale tra due placchette corrispondenti determina la deflessione degli elettroni nelle direzioni orizzontale o verticale. Se non vi è alcuna differenza di potenziale fra D_x e $D_{x'}$ e fra D_y e $D_{y'}$, il puntino luminoso cadrà al centro dello schermo. Se D_y è positivo rispetto a $D_{y'}$ il pennello elettronico verrà deviato verso l'alto; quanto più alta è questa differenza di potenziale, tanto più in alto sullo schermo andrà il puntino luminoso (la deflessione è proporzionale alla differenza di potenziale fra le due plachette di deflessione). Se invece D_y è negativo rispetto a $D_{y'}$ il puntino luminoso andrà in basso rispetto al centro dello schermo (vedi esperimento 1).

Una differenza di potenziale fra D_x e $D_{x'}$ sposterà il puntino luminoso a destra o a sinistra, a seconda che D_x sia rispettivamente positivo o negativo rispetto a $D_{x'}$ (vedi esperimento 21).

Se si applica una tensione alternata fra D_y e $D_{y'}$, il puntino luminoso oscillerà verticalmente sullo schermo. Se l'oscillazione è rapida avviene che, per effetto della persistenza della visione e della persistenza di illuminazione dello schermo, si otterrà una linea verticale stazionaria (vedi ad esempio esperimento 5). Analogamente si otterrà una linea orizzontale stazionaria quando viene applicata tra D_x e $D_{x'}$ una tensione alternata a frequenza piuttosto alta.

Il puntino luminoso può anche spostarsi, praticamente senza inerzia, sullo schermo del tubo a raggio catodico mediante l'applicazione simultanea di due tensioni, in direzione orizzontale per effetto di una tensione (la tensione X) e in direzione verticale per effetto dell'altra tensione (la tensione Y). Ciò consente di confrontare fra loro due tensioni ossia, in altri termini, di ottenere il grafico della tensione Y in funzione della tensione X. (Le lettere X e Y corrispondono alle normali direzioni X e Y di un sistema di coordinate cartesiane).

La sensibilità di deflessione (ossia la tensione necessaria tra una coppia di placchette per produrre 1 cm di deflessione del puntino luminoso) dipende dalla velocità con cui gli elettroni passano attraverso le placchette di deflessione. Quando questa velocità è bassa, la forza esercitata sugli elettroni dura un tempo maggiore, sicchè la sensibilità di deflessione è alta mentre, per contro, l'intensità luminosa è bassa.

Allo scopo di migliorare la luminosità della traccia sullo schermo senza ridurre eccessivamente la sensibilità di deflessione, si applica all'elettrodo acceleratore a_4 una tensione di alcune migliaia di volt. Questa alta tensione fa sì che gli elettroni raggiungano lo schermo con un'elevata velocità e siccome questa accelerazione avviene a valle

del sistema di deflessione, la sensibilità di deflessione rimane praticamente invariata.

L'elettrodo acceleratore generalmente consiste di una traccia a spirale di una sostanza scarsamente conduttrice applicata internamente al tubo. Questa spirale è collegata all'alta tensione dalla parte dello schermo e ad una tensione grossolanamente uguale a quella di a_3 dall'altra parte. Come risultato della graduale caduta di tensione lungo questa traccia resistiva si ha che la direzione degli elettroni rimane invariata durante l'accelerazione.

L'energia ceduta dagli elettroni che colpiscono lo schermo non viene solo convertita in luce, ma dà anche luogo ad « emissione secondaria ». Gli elettroni emessi dallo schermo vanno ad a_4. Si stabilisce così un circuito chiuso: catodo - pennello elettronico - schermo - emissione secondaria - a_4 - alimentatore - catodo.

b) L'amplificatore Y con attenuatore.

La sensibilità delle placchette di deflessione è dell'ordine di 20 o 30 V. La tensione da misurare generalmente non ha questo valore e quindi essa deve essere amplificata prima di venire applicata alle placchette. È abbastanza agevole ottenere un'amplificazione che consenta una deflessione di 1 cm con una tensione di entrata ad esempio di 100 mV. Si dice allora che l'amplificatore ha una sensibilità di 100 mV.

Se la tensione da misurare è eccessivamente grande per l'amplificatore, essa deve prima venire attenuata. L'attenuatore è un partitore di tensione costituito da resistori e/o condensatori. La divisione di tensione può essere regolata con continuità o a salti mediante un potenziometro o un commutatore-selettore.

Una frazione del segnale applicato ai terminali *Y* viene così applicata all'entrata dell'amplificatore. In questo modo si può regolare la sensibilità del *canale Y* (ossia si controlla l'*amplificazione Y*). Questo partitore di tensione variabile generalmente è preceduto da un partitore di tensione fisso, ad esempio da 1 a 10, posto nella *sonda di misura* all'estremità del suo cavo (vedi esperimento 71). Durante la misura, il puntale della sonda viene portato in contatto al punto da esaminare e la tensione attenuata prelevata viene inviata all'oscilloscopio tramite il cavo. A questo modo il circuito da esaminare viene poco influenzato dalla resistenza di entrata e dalla capacità di entrata del canale *Y*. La resistenza di entrata di un normale oscilloscopio è di circa 1 MΩ e la capacità di entrata è di circa 20 pF.

L'oscilloscopio viene usato per indicare visivamente vari tipi di effetti. Tutti i tipi di tensioni (che differiscono in frequenza, in am-

piezza e in forma) debbono perciò essere amplificati « in scala ». Pertanto il canale *Y* deve possedere alti requisiti per quanto concerne le sue proprietà di trasferimento.

Per un'amplificazione accurata delle tensioni rapidamente variabili, il tempo di reazione del circuito deve essere basso (vedi esperimento 101).

Ciò può essere ottenuto impiegando componenti e circuiti a bassa capacità e a bassa induttanza. (L'esperimento 35 dimostra che la tensione su un condensatore non può cambiare bruscamente, e l'esperimento 45 dimostra che la corrente attraverso una bobina non può variare « a salti »).

La larghezza di banda del canale *Y* è un indice della sua velocità di risposta; questa larghezza di banda è definita come la più alta frequenza alla quale una tensione applicata all'entrata *Y* dà luogo ad una deflessione non inferiore al 70 % di quella che si ha alle frequenze meno alte.

La qualità del canale *Y* può essere espressa come prodotto dell'amplificazione per la larghezza di banda. Questi due requisiti dell'oscilloscopio sono più o meno in conflitto fra loro; è estremamente difficile progettare un amplificatore a larga banda che fornisca una forte amplificazione. Un oscilloscopio con una sensibilità di 100 mV per cm e con larghezza di banda di 5 MHz può essere considerato come « medio »,, ma vi sono in commercio oscilloscopi con larghezze di banda tre o quattro volte maggiori, a parità di sensibilità.

Il canale *Y* deve amplificare senza introdurre distorsioni, ma oltre alle tensioni ad alta frequenza deve anche amplificare le tensioni variabili lentamente. Pertanto i moderni oscilloscopi sono equipaggiati con amplificatori per tensioni continue, ossia amplificatori nei quali l'accoppiamento fra i vari stadi è « galvanico » (resistivo), a differenza degli amplificatori per corrente alternata, che usano l'accoppiamento capacitivo (ossia attraverso il quale non passa la tensione continua).

Però la mancanza di condensatori di accoppiamento in un amplificatore per tensioni continue comporta che le variazioni di tensione continua di alimentazione passano attraverso l'amplificatore, insieme con la tensione da misurare. Ciò può dar luogo ad un aumento degli errori di misura. (Questa « deriva di corrente continua » nell'amplificatore può essere causata, ad esempio, da una variazione temporanea della tensione di alimentazione, dovuta alle inevitabili fluttuazioni della tensione di rete).

L'uso di amplificatori per tensioni continue deve essere ridotto al minimo. In molti oscilloscopi per il canale *Y* può essere usato un am-

plificatore per tensioni continue o uno per tensioni alternate, a seconda delle esigenze. Il canale *Y* viene commutato su « DC » quando si vogliono effettuare misure di tensioni continue (vedi ad esempio esperimento 1), di tensioni alternate a frequenza bassa (esperimento 31) o tensioni alternate sovrapposte ad una componente continua (esperimento 70). Negli altri casi conviene commutare il canale *Y* su « AC ». (Se non altrimenti specificato, la posizione « AC » verrà usata per tutti gli esperimenti descritti in questo libro).

L'uscita del canale *Y* è quasi sempre accoppiata direttamente alle placchette di deflessione. Ciò rende possibile applicare una tensione continua interna alle placchette, insieme con il segnale da misurare. Regolando questa tensione continua interna si può spostare tutto l'oscillogramma verticalmente, in alto o in basso (*posizione Y*).

c) L' amplificatore X con attenuatore.

L'esigenza di una trasmissione priva di distorsioni, che abbiamo discussa per il canale *Y*, vale naturalmente anche per l'amplificatore *X* con attenuatore (il *canale X*).

La sensibilità del canale *X* può essere controllata mediante l'attenuatore *X*, mentre l'oscillogramma può essere spostato orizzontalmente mediante il comando di posizione *X*. In alcuni oscilloscopi il canale *X* è identico al canale *Y*, ma in molti casi la qualità dell'amplificatore *Y* (prodotto dell'amplificazione *Y* per la larghezza di banda) è sensibilmente più alta rispetto a quella dell'amplificatore *X*; in quasi tutte le applicazioni, quest'ultimo è pilotato da un'elevata tensione interna, sicchè è sufficiente un amplificatore meno sensibile.

Dallo schema a blocchi si vede che l'entrata del canale *X* può essere commutata mediante il commutatore S_{k2}. Nella posizione 1 di questo commutatore la tensione di uscita dell'unità della base dei tempi viene applicata all'entrata del canale *X*. L'unità per la base dei tempi sviluppa una tensione che varia linearmente con il tempo (vedasi il prossimo punto *d*). Perciò, con il commutatore in questa posizione la deflessione *X* risulta proporzionale al tempo. Viene così rappresentata sullo schermo la variazione della tensione applicata al canale *Y* in funzione del tempo. (Vedi ad esempio esperimenti da 12 a 20).

Quando S_{k2} è in posizione 2, l'entrata del canale *X* viene collegata al terminale *X* « esterno ». Se non viene applicata alcuna tensione a questo terminale non vi sarà alcuna deflessione *X* (vedi ad esempio gli esperimenti da 1 a 10).

Questa posizione di S_{k2} viene anche usata per confrontare fra loro due quantità: la tensione ottenuta da una data quantità viene a tale

scopo applicata al terminale X e la tensione derivata da un'altra quantità al terminale Y. Si viene allora a formare sullo schermo un grafico che fornisce la relazione fra queste due quantità (vedasi ad es. gli esperimenti da 22 a 30).

Occorre notare a questo proposito che le tensioni X e Y sono entrambe applicate, con un polo, ad un punto comune (il *terminale di massa*).

Infine, S_{k2} può anche essere posto nella posizione 3. In questo caso il canale X viene collegato alla rete di alimentazione (con tensione alternata alla frequenza di 50 Hz) e la tensione Y viene confrontata con la tensione di rete.

d) Il circuito per la base dei tempi.

Spesso si desidera rappresentare visivamente la variazione di una data quantità nel tempo. La tensione, che è proporzionale alla quantità in questione, viene allora applicata tramite il canale Y alle placchette di deflessione Y. Nello stesso tempo le placchette di deflessione X vengono alimentate con una tensione tale che il pennello elettronico si sposti da sinistra a destra lungo lo schermo, con velocità costante. Dopo che il pennello elettronico ha raggiunto il bordo destro dello schermo, esso deve essere fatto ritornare rapidamente al bordo sinistro dello schermo per incominciare un nuovo ciclo. La tensione sulla placchetta D_x rispetto a quella della placchetta $D_{x'}$ (vedi schema a blocchi A) deve perciò variare « lentamente » e regolarmente da un certo valore negativo ad un eguale valore positivo, per poi tornare « rapidamente » al valore iniziale e così via. Una tale tensione è denominata « tensione a dente di sega » (vedi l'oscillogramma dell'esperimento 80).

Il tempo necessario affinchè la tensione aumenti dal minimo al massimo è denominato « tempo di scansione » e il tempo perchè avvenga la rapida diminuzione al valore minimo è denominato « tempo di ritorno ». Tutti gli oscilloscopi sono equipaggiati con un circuito che genera la tensione a dente di sega e tale circuito è denominato *unità per la base dei tempi*. Questo circuito praticamente è sempre basato sul principio che la tensione su un condensatore varia linearmente con il tempo, quando il condensatore viene caricato o scaricato con una corrente costante (vedasi esperimento 32). Durante il ritorno, l'unità della base dei tempi sviluppa un impulso negativo per il cilindro di Wehnelt così da interdire il pennello elettronico.

Per ottenere un'immagine fissa sullo schermo, si deve fare in modo che il periodo della tensione a dente di sega sia sempre uguale op-

pure sia un multiplo di quello della tensione da misurare. L'oscilloscopio deve avere un comando a salti e/o continuo, che regoli il periodo della tensione a dente di sega, con il quale si possa controllare la « velocità di tracciamento » del pennello elettronico nella direzione orizzontale (la velocità X).

Siccome tanto la frequenza della tensione Y che quella della tensione a dente di sega sono sempre più o meno instabili, l'immagine sullo schermo avrà la tendenza a muoversi più o meno velocemente, sicchè la velocità X dovrebbe essere regolata continuamente per tenere sufficientemente fissa l'immagine. Allo scopo di evitare la necessità di questa regolazione continua, che costituisce un inconveniente considerevole, nei moderni oscilloscopi si usa il seguente metodo: l'unità della base dei tempi viene « sincronizzata » dalla tensione Y, e descrive una « traccia » e un « ritorno », dopodichè essa viene nuovamente sincronizzata. A questo modo la base dei tempi è « agganciata » alla tensione Y, sicchè si ottiene un'immagine fissa.

Occorre notare a questo proposito che il segnale di sincronismo non deve essere troppo forte (al massimo circa 10 V) se si vuole un buon funzionamento dell'oscilloscopio.

Dallo schema a blocchi A dell'oscilloscopio vediamo che il segnale di sincronismo può essere applicato in numerosi modi: quando il commutatore S_{k1} è in posizione 1, la base dei tempi viene sincronizzata internamente con l'aiuto della tensione amplificata Y.

Questo è il caso più comune. (Negli esperimenti che descriveremo in seguito si userà sempre il sincronismo interno, a meno che non sia diversamente indicato). Nella posizione 2 di S_{k1} si può applicare all'unità della base dei tempi un segnale di sincronismo esterno (vedi ad esempio gli esperimenti 55 e 56). Con S_{k1} nella posizione 3 si può usare per il sincronismo la tensione di rete (vedi ad es. gli esperimenti 65 e 66).

2. - Il commutatore elettronico.

Sullo schermo di un oscilloscopio si possono ottenere simultaneamente più di una traccia mediante l'aiuto del *commutatore elettronico*. Tratteremo brevemente il funzionamento del commutatore elettronico, riferendoci al seguente schema semplificato B.

Il « commutatore » S_k collega le uscite dei canali Y' e Y'' alternativamente al canale Y di un oscilloscopio. (Noi supponiamo che il canale X dell'oscilloscopio sia pilotato internamente dalla base dei tempi). Sullo schermo dell'oscilloscopio verranno presentate visivamente,

alternativamente, le tensioni da misurare applicate ai terminali di Y' e di Y''.

Se le tensioni Y' e Y'' sono a bassa frequenza (circa 200 Hz) si userà una frequenza di commutazione di 2000 Hz o più. Ciascuna traccia che si forma sullo schermo non è continua, ma è costituita da « elementi (segmenti) di immagine ». Se la frequenza di commutazione è dieci volte quella del segnale da osservare, ciascuna traccia sarà costituita da dieci di questi elementi e ciò può essere considerato come un minimo. È preferibile rendere maggiore il numero di elementi di immagine, così da perdere pochi dettagli (vedi esperimento 93).

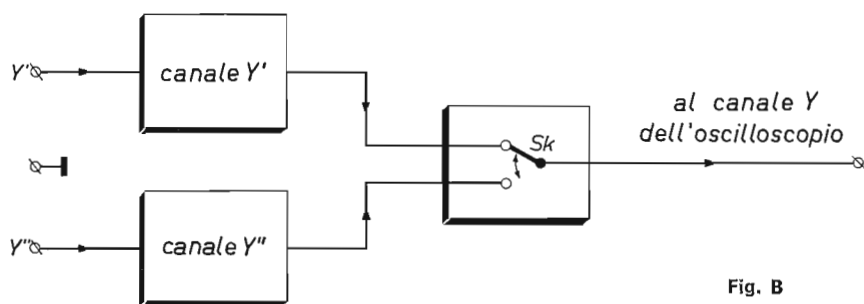



Fig. B

Per segnali a frequenza alta (da circa 200 Hz in su) si impiega una frequenza di commutazione più bassa della frequenza del segnale. Ciò consente di rendere contemporaneamente visibili uno o più cicli completi (vedi esperimento 92). Questo metodo di commutazione non è adatto per le frequenze più basse su menzionate, poichè l'immagine comincia a presentare dello sfarfallìo quando la frequenza di commutazione è inferiore a circa 25 Hz.

Allo scopo di perdere il minimo dettaglio possibile di ciascuna traccia, la commutazione deve avvenire con la massima rapidità possibile: il passaggio del pennello elettronico da una traccia all'altra risulta così praticamente invisibile. Da ciò segue che un commutatore meccanico avrebbe un'inerzia eccessiva. Bisogna quindi usare circuiti elettronici comprendenti tubi o transistori.

I canali Y' e Y'' contengono ciascuno, assieme ad altri dispositivi, un attenuatore per regolare la sensibilità del relativo canale (*sensibilità* Y' e Y''). I due canali hanno un terminale comune di massa.

Inoltre è predisposta la possibilità di spostare verticalmente le due immagini l'una rispetto all'altra (*spostamento* Y' *e* Y''); ciò viene effettuato regolando la tensione media di uscita dei due canali.

3. - Preamplificatori.

Quando le tensioni da misurare sono così piccole che la deflessione prodotta sullo schermo dell'oscilloscopio risulterebbe troppo bassa, malgrado l'amplificazione *X* e *Y* dell'oscilloscopio stesso, occorre impiegare un'ulteriore amplificazione prima dell'oscilloscopio (vedansi gli esperimenti 95, 96, 97).

Sono disponibili in commercio a tale scopo dei *preamplificatori*, che possono elevare le basse tensioni (1 mV o meno) portandole al desiderato livello. È inutile dire che si debbono prendere particolari cure per ridurre il ronzìo in questi amplificatori, dato che facilmente questa interferenza può essere dello stesso ordine di grandezza della tensione da misurare.

Abbiamo visto che i buoni oscilloscopi forniscono una valida presentazione visiva delle oscillazioni delle tensioni. È quindi della massima importanza che ogni circuito fra il punto di misura e l'oscilloscopio introduca la minima distorsione. Un preamplificatore universale deve quindi avere una grande *larghezza di banda*. Altra importante proprietà di un oscilloscopio è che esso deve presentare un carico basso per il circuito da esaminare, sicchè le condizioni di funzionamento del circuito non vengano apprezzabilmente alterate per effetto della misura. Un preamplificatore deve conservare questa proprietà: la resistenza di entrata deve essere alta (ad es. 1 MΩ) e la capacità di entrata bassa (ad es. 20 pF).

La maggior parte dei preamplificatori sono equipaggiati con un semplice attenuatore che consente di regolare l'amplificazione.

PARAGRAFO II.

TRASDUTTORI

Un oscilloscopio è sostanzialmente uno strumento atto ad osservare le tensioni. Se vogliamo usarlo per misurare altre quantità, dobbiamo anzitutto convertire queste quantità in tensioni. L'elettronica ci fornisce i mezzi necessari per questa conversione: vi sono componenti e circuiti per convertire in tensioni quantità elettriche e non

elettriche. L'elemento o componente che reagisce alla quantità in esame è denominato rivelatore (pick-up) e il circuito che comprende il rivelatore e che trasforma la quantità in esame in una tensione è denominato *trasduttore*. Noi non forniremo qui un elenco completo di rivelatori e trasduttori, anche se ciò fosse possibile. Un tale elenco sarebbe presto superato: si può dire che giornalmente appaiono sul mercato nuovi componenti o componenti migliorati, tuttavia molti rivelatori e trasduttori costituiscono varianti di alcuni componenti fondamentali. Dedicheremo una certa attenzione ai principi basilari sui quali questi funzionano.

1. - Quantità elettriche.

a) Corrente.

Una corrente elettrica può essere semplicemente convertita in una tensione includendo una resistenza nel circuito nel quale vogliamo determinare la corrente. (Evidentemente la resistenza dovrà essere scelta di un valore sufficientemente piccolo da non alterare il funzionamento del circuito). Questa resistenza dà luogo ad una lieve caduta di tensione. Conformemente alla legge di Ohm, questa caduta di tensione è proporzionale alla corrente. La corrente può quindi essere trasformata in una tensione mediante una resistenza. Di questo dispositivo si fa uso negli esperimenti da 24 a 30.

b) Resistenza.

Una resistenza può essere convertita in una tensione seguendo lo stesso principio. In caso questo si parte da una corrente costante e nota la quale circoli attraverso la resistenza in esame; la tensione sulla resistenza è allora proporzionale alla resistenza.

c) Induttanza.

La tensione indotta in un conduttore da una corrente variabile è proporzionale alla variazione della corrente nel tempo e all'induttanza del conduttore. Se la rapidità della variazione della corrente è nota (ad esempio se passa una corrente alternata di nota ampiezza e frequenza attraverso il conduttore), l'ampiezza della tensione sul conduttore (bobina) dipende dall'induttanza. Ciò fornisce un mezzo per convertire un'induttanza in una tensione e di questa applicazione si fa uso dell'esperimento 48.

d) Capacità.

La corrente in circuito capacitivo è proporzionale alla capacità e alla rapidità di variazione della tensione nel tempo. Se una tensione alternata di ampiezza e di frequenza costante viene applicata al condensatore, allora la massima rapidità della variazione della tensione nel tempo è costante. L'ampiezza della corrente nel circuito è allora proporzionale della capacità. Se convertiamo questa corrente in una tensione mediante una resistenza (vedi *a*) l'ampiezza della tensione sulla resistenza risulta proporzionale alla capacità in esame. Vedasi ad es. l'esperimento 38.

2. - Quantità non elettriche.

e) Piccole distanze, lunghezze, ecc.

Vi sono molti modi possibili per trasformare una lunghezza in tensione. Come rivelatore possiamo per esempio fare uso di un *condensatore ad armature piane.* La capacità di tale rivelatore è inversamente proporzionale alla distanza fra le sue armature. Se applichiamo a questo condensatore una tensione alternata di ampiezza e frequenza costanti, l'ampiezza della corrente nel circuito risulterà inversamente proporzionale alla distanza fra le armature. Se convertiamo la corrente alternata in una tensione mediante una resistenza (vedi esperimento 38), l'ampiezza della tensione risulterà anch'essa inversamente proporzionale alla distanza fra le armature del condensatore.

Se per esempio dobbiamo misurare le variazioni di lunghezza di un oggetto, possiamo fissare una delle armature del condensatore ad una estremità dell'oggetto e fissare l'altra armatura ad un supporto rigido vicino. Se la lunghezza dell'oggetto aumenta, la distanza fra le armature diminuisce. L'ampiezza della tensione sul resistore risulterà allora proporzionale alla variazione della lunghezza dell'oggetto in esame.

Un altro metodo per convertire una distanza in una tensione è usato nell'esperimento 50. In questo caso la variazione della lunghezza di una astina viene convertita in una variazione dell'induttanza di una bobina. Una corrente alternata di ampiezza e frequenza costanti che attraversi la bobina, dà luogo ad una tensione alternata la cui ampiezza è proporzionale all'induttanza della bobina. L'aumento di ampiezza della tensione è quindi proporzionale all'aumento di lunghezza dell'oggetto in esame.

Un terzo modo per convertire una lunghezza in una tensione si basa sull'impiego dell'estensimetro a resistenza elettrica.

L'estensimetro, nella sua forma più semplice, è costituito da un filo da resistenza attaccato in maniera particolare ad esempio ad una piastra di appoggio. La resistenza dipende quindi dalla sua lunghezza. Se il filo viene tirato, la sua resistenza aumenterà. Se per contro viene compresso, la sua resistenza diminuirà. Se si vogliono misurare piccole variazioni di lunghezza, si fissa un tale estensimetro all'oggetto da esaminare. Quando l'oggetto varia di lunghezza, l'estensimetro subisce la stessa variazione di lunghezza e la sua resistenza varierà in conformità. Questa variazione di resistenza può essere convertita in una variazione di tensione mediante una corrente costante.

Abbiamo visto come la variazione di lunghezza può essere convertita in una variazione di tensione mediante un rivelatore capacitivo o induttivo o mediante un estensimetro a resistenza elettrica. I rivelatori usati in pratica sono spesso varianti di questi tipi. Per esempio, la capacità di un condensatore dipende non soltanto dalle sue dimensioni, ma anche dalla natura della sostanza interposta fra le armature. Riempiendo parzialmente o totalmente lo spazio tra le armature con un certo materiale, si avrà una variazione di capacità (vedi esperimento 38). Questa proprietà viene utilizzata nell'esperimento 40.

f) Forze meccaniche, pesi ecc.

I corpi soggetti all'azione di forze meccaniche generalmente cambiano di forma, di lunghezza e qualche volta anche di stato. Finchè non venga oltrepassato un certo limite, l'ampiezza di queste variazioni è proporzionale alla forza applicata.

Per esempio, un filo si allunga quando è tirato da un peso. Se il peso viene raddoppiato, il filo si allungherà del doppio rispetto a prima. Una barra o una trave fissata ad una estremità si fletterà alquanto sotto il proprio peso. Se essa viene caricata dippiù, si piegherà maggiormente.

Un blocco di gomma può essere ristretto comprimendolo; se lo si comprime più fortemente, esso verrà ancora più ristretto. Tali forze possono allora essere misurate determinando le variazioni di forma che esse producono. In pratica, ciò si riduce a determinare le variazioni di lunghezza come descritto sotto la voce *e*). Un esempio si trova nell'esperimento 39. I pezzi di spugna di gomma si comprimono maggiornamente quando la forza applicata (il peso) viene aumentata. La variazione di lunghezza così prodotta corrisponde a una certa variazione della capacità di un rivelatore capacitivo. Questa variazione di

capacità viene convertita in una vàriazione di corrente. La tensione su una resistenza in serie dipende così dalla forza esercitata sull'armatura.

Gli estensimetri sono anche molto adatti per convertire pesi in tensioni e sono ampiamente usati in pratica a questo scopo. Per esempio, uno o più estensimetri possono essere fissati ad una trave. Quando questa viene caricata, ad esempio premendo sul lato superiore della trave, la superficie inferiore si allunga. Questa pressione e questo allungamento corrispondono a variazioni di resistenza, che possono essere convertite in variazioni di tensione. Questo principio è usato nell'esperimento 79 per convertire le deformazioni periodiche di una molla in variazioni di tensione.

È anche possibile misurare forze mediante l'aiuto di un rivelatore induttivo. La forza da misurare può spingere un nucleo di ferro in una bobina, variando così l'induttanza di essa. Questa variazione di induttanza può essere trasformata in variazione di tensione nella maniera descritta nel capoverso *c*).

Il rivelatore induttivo usato nell'esperimento 50 può servire come « bilanciamento ». Se si toglie l'astina metallica e un pezzo di ferroxcube sagomato ad I viene caricato con un peso, la tensione sulla bobina dipenderà dall'entità del peso.

g) Vibrazioni acustiche, vibrazioni meccaniche, ecc.

Per rivelare vibrazioni acustiche si può usare un *microfono*. I microfoni sono di vari tipi. Nel *microfono a carbone* le differenze di pressione dell'aria provocano una compressione reciproca più o meno grande fra numerosi granuli di carbone. Le differenze della pressione di aria provocano allora differenze nella lunghezza (distanza) che a loro volta danno luogo a variazioni di resistenza. Se il microfono a carbone è alimentato da una batteria tramite una elevata resistenza in serie, la tensione del microfono varierà contemporaneamente con le variazioni di resistenza. In definitiva, i suoni daranno luogo a una tensione alternata la cui ampiezza è proporzionale alla variazione di resistenza.

Il *microfono a condensatore* consiste sostanzialmente di due armature isolate fra loro, una delle quali è rigidamente fissata mentre l'altra può vibrare. Le vibrazioni possono colpire l'armatura mobile provocandone la vibrazione e dando così luogo a variazioni di capacità. Se il microfono è collegato ad una tensione costante tramite una elevata resistenza in serie, la carica del condensatore non può variare rapidamente. Le variazioni di capacità daranno allora luogo a varia-

zioni di tensione. La tensione alternata di uscita è proporzionale alle variazioni di capacità.

Il funzionamento di un *microfono piezoelettrico* (*a cristallo*) dipende dall'effetto piezoelettrico: si genera una differenza di potenziale fra le facce opposte di una piastrina di cristallo tagliata in maniera opportuna e fornita di un rivestimento conduttore, quando le facce vengono distanziate o contratte. La differenza di potenziale prodotta dall'espansione è di segno opposto a quella dovuta alla contrazione. In pratica, due piastrine di cristallo di questo tipo vengono cementate fra loro; se l'insieme si piega, una delle piastre si allungherà mentre l'altra risulterà compressa. Si produce allora una tensione fra i due rivestimenti conduttori. Una vibrazione del cristallo viene così convertita direttamente in una tensione alternata. In questo caso non è necessaria alcuna tensione ausiliaria, come invece avviene per il microfono a carbone e per il microfono a condensatore.

Se un conduttore si sposta in un campo magnetico in modo che ne tagli le linee di forza, si induce, in questo conduttore, una tensione. Questo è il principio del *microfono dinamico*.

Il conduttore frequentemente consiste di una bobina accoppiata ad una membrana. Se il conduttore è costituito da un nastro, che serve anche da membrana, si ha un *microfono a nastro*. Il funzionamento di un tale microfono è dimostrato nell'esperimento 78. Il filo teso (che in questo caso è costretto da un vibratore a vibrare) si muove parzialmente immerso in un campo magnetico. È allora disponibile fra le estremità del filo una forza elettromotrice indotta.

Si può anche usare un *altoparlante* come microfono dinamico. Se un'onda sonora colpisce il cono (membrana), si induce una tensione nella bobina mobile, dato che quest'ultima si sposta in un campo magnetico.

Vibrazioni meccaniche, come quelle che avvengono nelle varie parti di macchine o simili, vengono rivelate mediante speciali rivelatori di vibrazione induttivi, che vengono fissati all'oggetto vibrante. Essi sono basati sull'effetto di induzione dimostrato nell'esperimento 8; la tensione indotta è allora proporzionale alla velocità della vibrazione. In questo caso si parla di « sensibilità alla velocità », definita come forza elettromotrice indotta per unità di velocità.

Con l'aiuto di un'adatta combinazione *RC*, si può ricavare una tensione proporzionale all'accelerazione della vibrazione, dalla tensione indotta la quale è proporzionale alla velocità di vibrazione. La accelerazione è importante quando si vogliono conoscere le forze alle quali l'oggetto vibrante è sottoposto.

Un'altra quantità che ha importanza pratica è il massimo sposta-

mento di un oggetto vibrante. Questo può anche essere determinato mediante l'aiuto di un opportuno circuito *RC* dalla tensione del rivelatore. In questo modo, nell'esperimento 77 sono misurati i vari parametri di vibrazione.

Nell'esperimento 89 è usato un estensimetro come rivelatore di vibrazione. In questo caso le variazioni di tensione ottenute sono proporzionali allo spostamento; si possono da ciò ricavare la velocità e l'accelerazione mediante l'aiuto di circuiti differenziatori (*RC*).

h) Intensità luminosa, illuminazione, ecc.

Vi sono vari modi per convertire la luce in tensione, basati sull'uso di vari tipi di elementi fotosensibili. Un elemento fotosensibile molto usato in elettronica è il *fotoresistore,* il cui funzionamento si basa sull'« effetto fotoconduttivo »: uno strato di solfuro di cadmio, che al buio è praticamente un isolante, diviene conduttore quando viene illuminato. La resistenza di questo strato dipende quindi dall'illuminazione. Suddividendo lo strato con l'aiuto di due pettini interlacciati di vernice conduttiva, si ottiene la combinazione in parallelo di numerosi fotoresistori, sicchè la resistenza totale in presenza di illuminazione è bassa.

A causa della sua reazione piuttosto lenta, il fotoresistore non è adatto per seguire fluttuazioni luminose molto rapide.

I diodi a semiconduttore (diodi a cristallo) conducono maggiormente in una direzione rispetto all'altra (vedi esperimento 27). Oltre che dalla tensione applicata, la corrente del diodo dipende anche in certo modo dalla quantità di energia fornita sotto forma di calore o di luce. Se il diodo è polarizzato inversamente (ossia con l'anodo negativo rispetto al catodo) la corrente nel diodo è bassa (corrente inversa). In questo caso la corrente dovuta alla luce incidente o al calore è relativamente grande; su questo principio si basa il *fotodiodo.* In pratica, la superficie curva del bulbo di vetro nel quale è racchiuso il diodo agisce anche come lente, sicchè la luce viene messa a fuoco sul diodo e ciò ne aumenta l'efficacia.

I fotodiodi di questo tipo hanno un'inerzia molto più bassa rispetto ai fotoresistori. I fotodiodi sono usati negli esperimenti 58, 59, 84, 87.

Un altro elemento fotosensibile è la *fotocellula,* il cui funzionamento si basa sul principio della fotoemissione. Parte della superficie interna di un bulbo di vetro nel quale è fatto il vuoto è rivestita di uno strato di « materiale catodico », ad esempio ossido di cesio. Quando questo strato viene illuminato emette elettroni. Un anodo con un

potenziale positivo attrae questi elettroni; circola così una corrente di elettroni. La corrente (alcuni microampere) dipende dall'illuminazione.

A parità di illuminazione; si può aumentare da 5 a 10 volte la corrente impiegando una fotocellula riempita di gas. Gli elettroni emessi dal fotocatodo e dotati di un'alta velocità per effetto di una tensione sufficientemente alta, ionizzano le molecole di gas, aumentando così il numero di portatori di carica sicchè la corrente risulta più alta di quando la fotocellula è nel vuoto.

Un altro tipo di elemento fotosensibile è la *fotocellula a strato di barriera*. Uno strato di ossido di rame è applicato su una lastra di rame, e un altro strato metallico estremamente sottile sopra la sommità della pellicola di ossido. La luce incidente passa attraverso lo strato metallico e libera elettroni dallo strato di ossido, che raggiungono quello metallico. Si genera così una differenza di potenziale fra lo strato metallico e la piastra di rame. L'entità di questa differenza di potenziale dipende dalla luce che colpisce la cellula.

La luce viene così convertita direttamente in tensione senza l'aiuto di una tensione ausiliaria.

i) Temperatura.

Sebbene avvengano raramente variazioni rapide di temperatura, e quindi raramente è necessario osservare tali variazioni mediante un oscilloscopio, dobbiamo aggiungere qualche cenno sulla conversione delle differenze di temperatura in tensione.

La resistenza di un conduttore dipende dalla temperatura. Nei metalli, la resistenza di un conduttore aumenta con la temperatura. Ciò si spiega supponendo che il passaggio degli elettroni attraverso il metallo sia reso più difficoltoso alle temperature più alte, per effetto dell'aumentata vibrazione termica del reticolo del metallo. Tali conduttori hanno perciò un coefficiente in temperatura positivo. Si parla così di *resistenze PTC* (Positive Temperature Coefficient). Se passa una corrente costante attraverso una resistenza di questo tipo, la caduta di tensione su essa dipende dalla temperatura ambiente.

Il numero di elettroni liberi in un semiconduttore dipende dalla temperatura. Man mano che la temperatura aumenta, viene liberato un sempre maggior numero di elettroni che prendono parte al processo di conduzione. Perciò la resistenza di un semiconduttore diminuisce con l'aumentare della temperatura. Questo è il principio su cui si basa il funzionamento delle *resistenze NTC* (Negative Temperature Coeffi-

cient). Con una corrente costante, i resistori NTC possono anche essere usati per convertire temperature in tensioni.

Le differenze di temperatura possono anche essere misurate mediante una *termocoppia*. Se la giunzione fra due differenti metalli (fili) viene posta ad una temperatura diversa da quella esistente alle due estremità libere, si genera una *forza elettromotrice termoelettrica.* Questa forza elettromotrice è disponibile fra le estremità libere della termocoppia. A questo modo la temperatura viene convertita in tensione senza l'aiuto di alcuna tensione ausiliaria.

ESPERIMENTO 1: **TARATURA DEL CANALE Y.**

Circuito:

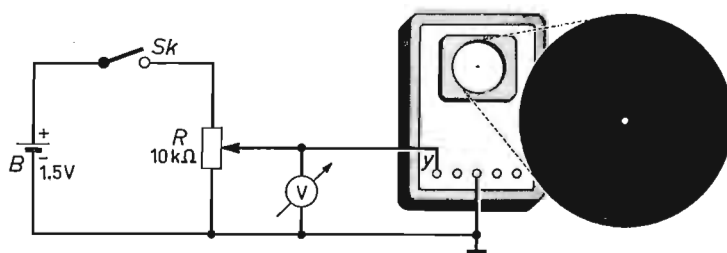



Fig. 1 *a* Fig. 1 *b*

Descrizione:

a) Si apre l'interruttore S_k e si pone il cursore di *R* in basso.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regolano la posizione *X* e *Y*, i comandi di fuoco e di intensità fino a osservare un piccolo puntino luminoso nel centro dello schermo. (Il puntino non deve essere molto luminoso, per non « bruciare » lo schermo).

c) Si chiude S_k. Si muove il cursore di *R* gradualmente verso l'alto; si notano le successive posizioni del puntino luminoso e le corrispondenti indicazioni del voltmetro *V*.

d) Si inverte la connessione della batteria *B* e del voltmetro e si ripete il punto *c*.

e) Si ripetono i punti *c* e *d* per altre posizioni dell'attenuatore *Y*.

Spiegazione:

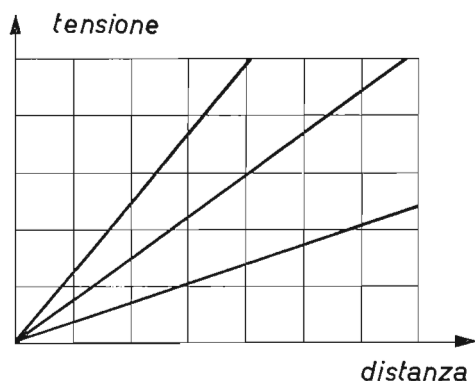



Fig. 1 *c*

Le placchette di deflessione verticale del tubo a raggi catodici sono collegate in modo che il pennello elettronico venga deviato verso l'alto quando al canale *Y* è applicata una tensione positiva rispetto al terminale di massa. Il puntino luminoso quindi si muove verso l'alto man mano che il cursore viene spostato verso l'alto. Le indicazioni del voltmetro per le differenti posizioni del cursore possono ora essere confrontate con lo spostamento del puntino, e ciò consente di compilare una tabella di taratura o una curva di taratura analoga a quella di Fig. 1 *c*.

Se si inverte la polarità della batteria, la tensione al canale *Y* risulta negativa rispetto al terminale di massa. Il puntino luminoso si sposterà verso il basso man mano che il contatto del cursore viene spostato verso l'alto. Si potrà allora tracciare un'analoga curva di taratura per altre posizioni del comando dell'amplificatore.

ESPERIMENTO 2: **MISURA DI UNA CORRENTE CONTINUA**

Circuito:

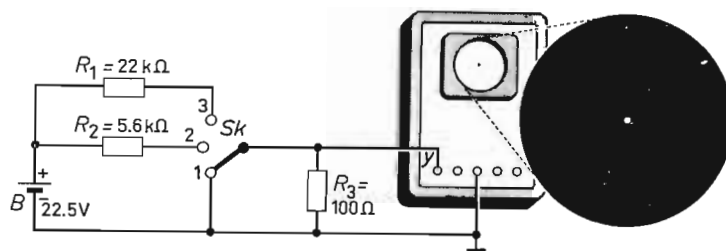



Fig. 2 *a* Fig. 2 *b*

Descrizione:

a) Si commuta S_k sulla posizione 1 (canale *Y* collegato al terminale di massa).

b) Si commuta il canale *X* su « esterno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regolano la posizione *X* e *Y*, il fuoco e l'intensità fino ad ottenere un nitido puntino luminoso che risulti esattamente al centro dello schermo. (Evitare di bruciare lo schermo per effetto di una luminosità eccessiva).

c) Si commuta S_k nella posizione 2 e si misura lo spostamento del puntino luminoso. Si determina la corrispondente tensione continua in base alla curva di taratura effettuata secondo l'esperimento 1. Si calcola da ciò la corrente che attraversa la resistenza R_2.

d) Si commuta S_k nella posizione 3 e di determina la corrente attraverso R_1 come nel capoverso *c*.

e) Si inverte la connessione della batteria *B* e si ripetono le operazioni *c* e *d*.

Spiegazione:

Quando S_k è nella posizione 2, la batteria invia una corrente continua attraverso il circuito *B*, R_2 e R_3. La resistenza totale di questo circuito è uguale alla somma di R_2 e R_3. Poichè R_3 è molto più piccolo di R_2, la resistenza totale nel circuito è praticamente uguale a R_2. La corrente provoca su R_3 una piccola caduta di tensione che fa spostare verso l'alto il puntino luminoso. Questo spostamento corrisponde ad una tensione, la cui entità può essere determinata in base alla curva di taratura dell'esperimento 1. Conformemente alla legge di Ohm, la corrente nel circuito è uguale alla tensione così ricavata, divisa per la resistenza R_3. Quando S_k viene portato sulla posizione 3, R_3 risulta molto minore della resistenza del circuito. Si può determinare la corrente allo stesso modo.

Quando le connessioni della batteria vengono invertite, la corrente circola in direzione opposta. Ciò dà luogo a una caduta di tensione su R_3 di polarità opposta. Il puntino luminoso allora si sposta verso il basso. Si può così determinare non solo l'entità ma anche la direzione della corrente.

ESPERIMENTO 3: VALORE PICCO-PICCO DI UNA TENSIONE AD ONDA QUADRA

Circuito:

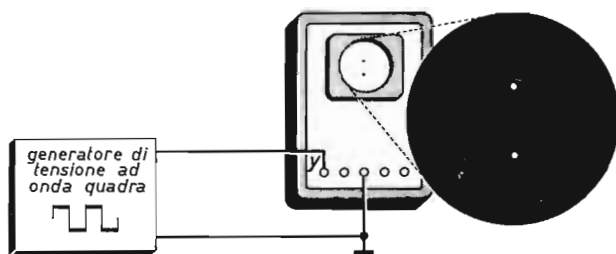



Fig. 3 *a* Fig. 3 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione di uscita del generatore di onda quadra a circa 1 V; si porta la frequenza di ripetizione su circa 1 kHz e il rapporto di impulso su 1 : 1.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno ». Si regolano l'amplificatore *Y* e la velocità *X* fino a vedere un'onda quadra. Si studi questa immagine.

c) Si commuta il canale *X* su « esterno ». Si regola la posizione *X* e *Y* fino ad ottenere un oscillogramma simile a quello di Fig. 3 b.

d) Si misura la distanza fra i due puntini luminosi e si converta il risultato in tensione mediante la curva di taratura dell'esperimento 1.

e) Si rende asimmetrica l'onda quadra e si ripetono le operazioni *b, c* e *d.* Si noti la differenza di luminosità dei due puntini luminosi.

Spiegazione:

Un'onda quadra può essere considerata come una tensione continua che assuma alternativamente un valore più basso e un valore più alto.

Nel punto *b* si avrà quindi un'immagine in cui si possono distinguere due livelli. La differenza tra i due livelli di tensione spesso è l'unico elemento importante, dato che i loro valori assoluti non hanno molta importanza. Questa differenza è denominata « valore picco-picco » di una tensione ad onda quadra. Se le durate dei due livelli sono uguali, si dice che l'onda quadra è simmetrica. Se le durate non sono uguali, l'onda quadra è asimmetrica. In questo caso la luminosità dei due puntini luminosi sullo schermo (punto *e*) è diversa, poichè un livello di tensione eccita per un tempo maggiore la fluorescenza dello schermo rispetto all'altro livello. La differenza di luminosità del puntino risulterà tanto maggiore quanto maggiore è il rapporto delle durate degli impulsi. Lasciando invariata la regolazione dell'amplificatore *Y*, la distanza tra i puntini luminosi dipende solo dal valore picco-picco della tensione ad onda quadra (punto *d*).

ESPERIMENTO 4: IL VALORE MEDIO DI UNA TENSIONE AD ONDA QUADRA

Circuito:

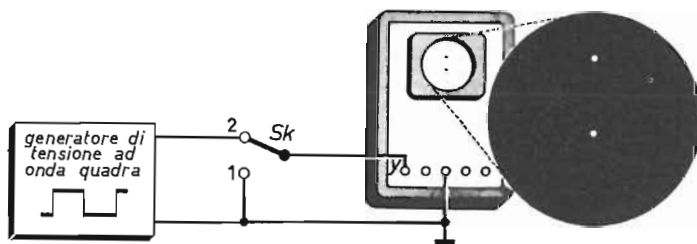



Fig. 4 *a* Fig. 4 *b*

Descrizione:

a) Si regola il generatore di tensione su circa 1 V; si regola la frequenza di ripetizione su circa 1 kHz e il rapporto di impulso su 1 : 1. Si pone S_k in posizione 1.

b) Si commuta il canale dell'oscilloscopio su « esterno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regola la posizione *X* e *Y* finchè il puntino luminoso sia al centro dello schermo.

c) Si commuta S_k sulla posizione 2. Si regola l'amplificazione *Y* finchè la distanza fra i due puntini luminosi sia uguale a metà dell'altezza dello schermo. Si contrassegnano questi punti.

d) Si commuta il canale *Y* su « *AC* ». Si misura l'ampiezza dello spostamento dell'oscillogramma e si determina la corrispondente tensione (vedi Fig. 1-*c*).

e) Si aumenta o si riduce il rapporto di impulso e si ripete il punto *d*.

f) Si ripetono i punti *c* e *d* con altri valori di tensione del generatore.

Spiegazione:

La tensione di uscita di un generatore ad onda quadra generalmente comprende una componente continua; il valore medio della tensione di uscita non è uguale a zero. Allo scopo di controllare ciò, si pone S_k sulla posizione 1. La tensione *Y* è allora zero. La posizione del puntino luminoso, che può essere regolata mediante il comando di posizione *Y*, è il livello zero. Se ora S_k viene commutato sulla posizione 2 (punto *c*), il canale *Y* è nella posizione *DC* e tutta la tensione del generatore viene applicata, amplificata, alle placchette di deflessione. Si constata allora che i due puntini luminosi sullo schermo (i livelli massimo e minimo del generatore di tensione) non sono entrambi alla stessa distanza dal livello zero. Quando il generatore di tensione simmetrica non contiene alcuna componente continua, la distanza fra il livello superiore (puntino luminoso superiore) e il livello zero risulterà uguale a quella esistente fra il livello inferiore (puntino luminoso inferiore) e il livello zero. Quando il canale *Y* viene commutato su *AC* (punto *d*), viene « bloccata » la componente continua dell'amplificatore *Y*. Il puntino luminoso si sposta allora di una distanza corrispondente alla componente continua. L'effetto del rapporto di impulso e dell'ampiezza della tensione di uscita sulla componente continua sono rilevati nei punti *e* ed *f*.

ESPERIMENTO 5: VALORE PICCO-PICCO DI UNA TENSIONE SINUSOIDALE

Circuito:

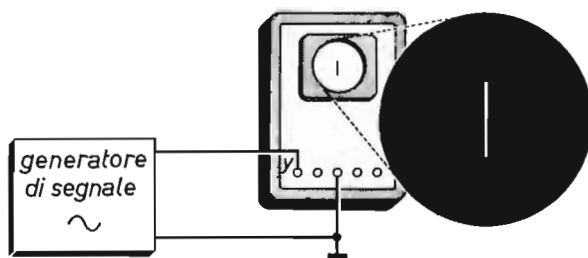



Fig. 5 *a* Fig. 5 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione di uscita del generatore di segnale su circa 1 V e la frequenza su circa 1 kHz.

b) Si commuta il canale *X* su « interno ». Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino a vedere un'onda sinusoidale. Si esamini questa immagine. Si commuta il canale *Y* su « *DC* » o « *AC* » e si osservi se l'oscillogramma si sposta.

c) Si commuta il canale *X* su « esterno ». Si regolano l'intensità e la posizione *X* e *Y* fino ad osservare un oscillogramma come quello di Fig. 5*b.*

d) Si misura la lunghezza della linea verticale e si determina la corrispondente tensione in base alla curva di taratura dell'esperimento 1. Si noti che al centro la linea è meno luminosa.

Spiegazione:

Il generatore di segnale fornisce una tensione sinusoidale, ossia una tensione la cui forma d'onda presenta un valore medio nullo (controllato nel punto *b*). La tensione pertanto varia gradualmente da un valore massimo positivo a un valore massimo negativo. Il valore massimo è denominato ampiezza, il numero di onde complete (cicli per secondo) è la frequenza della tensione alternata. Il tempo necessario per un ciclo completo dell'onda è denominato periodo. La rapidità della variazione della tensione è massima quando la tensione è minore (ossia quando la tensione passa attraverso lo zero). Quando la tensione è massima il suo valore varia lentamente. Questa è la caratteristica di un'onda sinusoidale. Quindi il pennello elettronico rimane sull'estremità superiore e inferiore dell'oscillogramma per un tempo più lungo rispetto alle altre parti del ciclo. È questa la ragione per cui la luminosità della linea, punto *d*, è minore nel centro. La lunghezza della linea corrisponde al valore picco-picco della tensione alternata; essa è il doppio dell'ampiezza (valore massimo) dell'onda.

ESPERIMENTO 6: VALORE EFFICACE DI UNA TENSIONE SINUSOIDALE

Circuito:

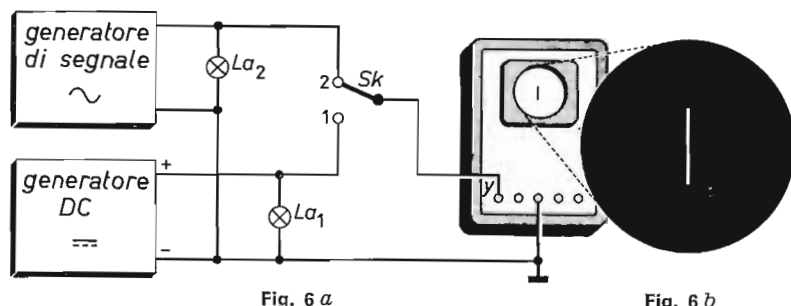



Fig. 6 *a* Fig. 6 *b*

Descrizione:

a) Si regolano entrambe le tensioni su zero. Come L_{a1} e L_{a2} si usino due lampade uguali da fanalino posteriore di bicicletta. Si pone il commutatore S_k in posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* su « esterno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regola la posizione *X* e *Y* in modo che il puntino luminoso risulti al centro dello schermo.

c) Si aumenta la tensione continua finchè L_{a1} si accenda appena. Si misura lo spostamento del puntino luminoso e si converta questo in tensione, eventualmente regolando l'amplificazione *Y*.

d) Si pone S_k in posizione 2. Si aumenta la tensione alternata (1 kHz) in modo che L_{a2} dia la stessa luce di L_{a1}. Si misuri l'altezza dell'oscillogramma e si determina la corrispondente tensione. Il valore efficace dell'onda sinusoidale verrà determinato in base a questa ampiezza.

e) Si ripete il punto *d* con una frequenza diversa (non troppo bassa) della tensione alternata.

Spiegazione:

Quando una corrente elettrica circola attraverso un conduttore si genera calore. Se la quantità di calore prodotto è sufficiente, il conduttore diventa incandescente e si genera luce. Ciò è quanto avviene nelle lampadine a incandescenza. Il calore prodotto (e la quantità di luce) dipende dalla corrente che circola e quindi dalla tensione applicata alle lampadine. Nel punto *d* le lampadine hanno uguale splendore. Il calore prodotto in La_1 dalla corrente continua è perciò uguale al calore medio prodotto in La_2 dalla corrente alternata. La tensione alternata su La_2 raggiunge il suo massimo valore per brevi istanti, mentre l'ampiezza della tensione continua su La_1 rimane costante. L'ampiezza della tensione alternata necessaria per generare un dato calore risulterà maggiore di quella della tensione continua: infatti, il quadrato della tensione continua è uguale alla metà del quadrato dell'ampiezza della tensione alternata. L'ampiezza della tensione alternata (metà della lunghezza della linea verticale) è quindi $\sqrt{2}$ volte la tensione continua (spostamento nel puntino luminoso osservato nel punto *c*).

Si può concludere allora che il valore efficace di una tensione sinusoidale è uguale a $\sqrt{2}$ volte la sua ampiezza. Nel punto *e* si osserva che il valore efficace non dipende dalla frequenza.

ESPERIMENTO 7: VALORE MEDIO DI « MEZZA ONDA SINUSOIDALE »

Circuito:

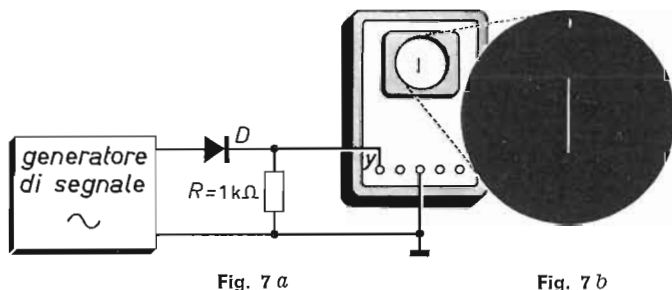



Fig. 7 *a* Fig. 7 *b*

Descrizione:

a) Si regola il generatore di tensione su 10 V e la frequenza su circa 1 kHz. Il diodo *D* deve essere tale da poter trascurare la caduta di tensione diretta rispetto a 10 V. La massima corrente nel diodo è di 15 mA.

b) Si commuta il canale *X* su « interno » e il canale *Y* su « *AC* ». Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad osservare alcune « mezze onde sinusoidali ».

c) Si commuta il canale *X* su « esterno ». Si regola la posizione *X* e *Y* finchè la traccia verticale sia al centro dello schermo. Si misuri la lunghezza di questa traccia.

d) Si commuta il canale *Y* su « DC » e si misuri lo spostamento prodotto nell'immagine. Si determini il valore medio della tensione *Y* in base a questo risultato e a quello precedente.

e) Si ripetono i punti *c* e *d* alle differenti frequenze.

Spiegazione:

In qualche caso conviene conoscere il valore medio (componente continua) delle parti « positiva » o « negativa » di una tensione alternata. Un impulso di tensione è presente su *R* per metà del tempo. Ciò si vede nel punto *b*. (Vedi gli esperimenti 27 e 65 per il funzionamento del circuito). A causa della « convessità » di un'onda sinusoidale, il valore medio di mezza onda è più di metà dell'ampiezza, mentre evidentemente deve essere minore del valore massimo. La componente continua di mezza onda sinusoidale deve quindi essere compresa fra metà dell'ampiezza e tutta l'ampiezza. Infatti, il valore medio di mezza onda sinusoidale è $2 : \pi$ volte l'ampiezza. Per metà del tempo, su *R* non vi è alcuna tensione. La componente continua della tensione *Y* è allora uguale alla metà di quella della semionda. Quando il canale *Y* viene commutato da *AC* a *DC* (punto *d*), la componente continua, che prima non era stata trasmessa alle placchette di deflessione, viene ora trasmessa. La traccia quindi si sposta di una distanza corrispondente alla componente continua della tensione *Y*. Il valore medio non dipende dalla frequenza (punto *e*).

ESPERIMENTO 8: **LEGGE DELL' INDUZIONE DI FARADAY**

Circuito:

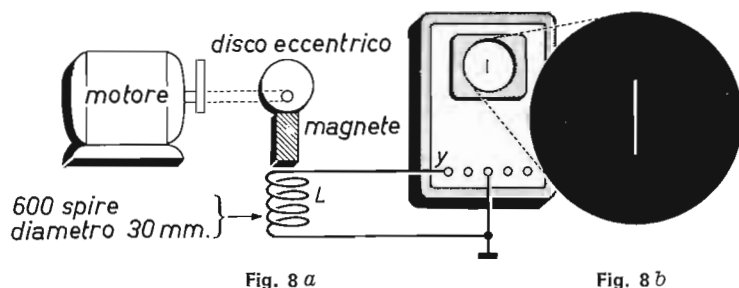



Fig. 8 *a* Fig. 8 *b*

Descrizione:

a) Un disco eccentrico è montato su un alberino di un motore rotante e serve per spostare su e giù un magnete nella bobina *L*.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno ». Si regolano l'amplificazione *Y* e la posizione *X* e *Y* fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. 8 *b*.

c) Si misuri la lunghezza della traccia verticale e si determini la corrispondente tensione in base alla curva di taratura dell'esperimento 1.

d) Si aumenta la velocità del motore e si ripeta la misura del punto *c*. Si ripete ancora la misura riducendo la velocità del motore.

e) Si allontana leggermente il motore da *L*, in modo che il magnete si immerga parzialmente nella bobina e si ripeta la misura del punto *c*.

Spiegazione:

Lo spazio nel quale un magnete fa sentire il suo effetto è denominato campo magnetico. Quando la posizione o l'intensità di un campo magnetico varia rispetto ad un conduttore (un filo, una bobina ecc.), si induce una forza elettromotrice (F.E.M.) nel conduttore. La legge dell'induzione di Faraday, che riguarda questo fenomeno, stabilisce che l'ampiezza della forza elettromotrice è proporzionale alla variazione del campo e inversamente proporzionale alla durata della variazione. Non necessariamente la variazione del campo deve essere provocata da una variazione di intensità, ma può anche consistere nello spostamento del magnete o del conduttore. In questo esperimento il magnete si muove. La tensione prodotta (ossia la lunghezza della traccia sullo schermo) aumenta col crescere della velocità di rotazione del motore, a causa della riduzione della durata di ogni spostamento. Se il magnete si muove alla stessa velocità ma si varia la distanza dalla bobina *L* (punto *e*), la tensione generata diventa più bassa, a causa del fatto che l'intensità del campo magnetico diventa minore man mano che la bobina viene allontanata dal magnete.

ESPERIMENTO 9: PROVA DEI MATERIALI MAGNETICI SCHERMANTI

Circuito:

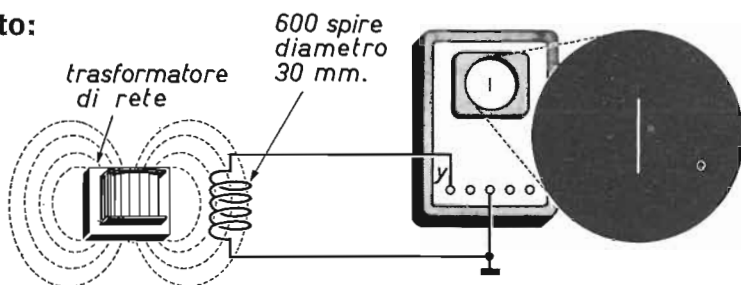



Fig. 9 *a* Fig. 9 *b*

Descrizione:

a) Si pone il canale *X* su « esterno » e l'amplificazione *Y* al massimo. Si collega una bobina tra il terminale del canale *Y* e il terminale di massa.

b) Si immerge la bobina nel campo magnetico di un trasformatore di rete o di un motore elettrico. Si ruota la bobina fino ad ottenere la massima altezza della traccia verticale sullo schermo. Si regola la amplificazione *Y* in modo che l'oscillogramma possa essere facilmente misurato (Fig. 9 *b*).

c) Si misura l'altezza dell'oscillogramma e si determini la corrispondente tensione in base alla curva di taratura dell'esperimento 1. (Fig. 1 *c*).

d) Si pongono, successivamente, una scatola di rame, di ferro e di mumetal attorno alla bobina e si ripete il punto *c*. Si confrontino i risultati.

Spiegazione:

Oltre ai magneti permanenti vi sono anche gli elettromagneti, che ricavano la loro energia da una corrente elettrica. Per esempio, nel trasformatore di rete il campo magnetico è generato da una corrente alternata. È anche presente, esternamente al trasformatore, un debole campo magnetico, avente un'intensità continuamente variabile (dato che è prodotto da una corrente alternata). Conformemente all'esperimento 8, si produce nella bobina una forza elettromotrice. Frequentemente nei campi magnetici sono disegnate le linee di forza; esse indicano la direzione della forza magnetica. Nella Fig. 9 *a* sono disegnate alcune linee di forza che accoppiano la bobina con il trasformatore. La forza elettromotrice prodotta è tanto più alta quanto maggiore è questo accoppiamento induttivo, ossia quanto più alto è il numero di linee di forza del trasformatore che vengono tagliate dalla bobina. Vari tipi di ferro hanno la proprietà di concentrare le linee di forza magnetiche. Se si pone attorno alla bobina una scatola di ferro, la maggior parte delle linee di forza passeranno attraverso questa scatola e non attraverso la bobina. L'accoppiamento induttivo e la corrispondente forza elettromotrice prodotta risultano allora più bassi. Un conduttore può così essere schermato contro un campo magnetico disturbatore.

ESPERIMENTO 10: LUNGHEZZA D'ONDA DI UN SEGNALE ACUSTICO

Circuito:

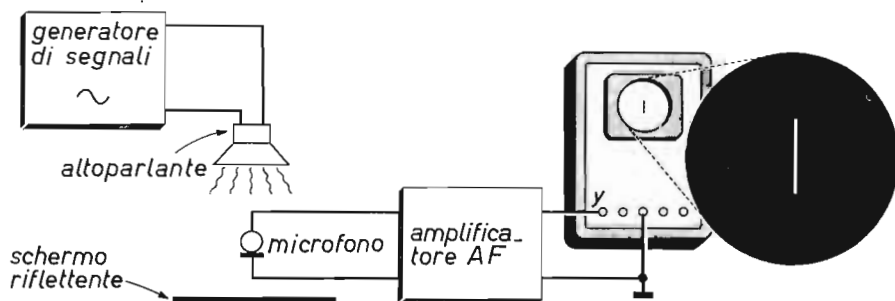



Fig. 10 *a* Fig. 10 *b*

Descrizione:

a) Si regola il generatore di tensione fino ad ottenere dall'altoparlante un suono chiaramente udibile; si pone la frequenza su circa 1 kHz.

b) Si pone l'altoparlante a circa 1 m di distanza da uno schermo riflettente e il microfono a metà fra l'altoparlante e lo schermo (Fig. 10 *a*).

c) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno ». Si regolano l'amplificazione *Y* e la posizione *X* e *Y* fino a ottenere l'oscillogramma di Fig. 10 *b*.

d) Si sposta il microfono lungo una linea immaginaria che dall'altoparlante va alla superficie riflettente e si misura la distanza fra i punti dove l'altezza dell'oscillogramma è massima e dove è minima. Si calcoli la lunghezza d'onda del segnale acustico in base a questi dati.

Spiegazione:

L'altoparlante pone in vibrazione longitudinale le molecole di aria, ossia la direzione di vibrazione è la stessa della direzione di propagazione. Se si pone uno schermo riflettente nel tragitto dell'onda sonora, il microfono riceve un'onda dallo schermo e una dall'altoparlante. Sotto l'influenza di queste due onde, si producono onde stazionarie lungo la linea che congiunge l'altoparlante allo schermo: in certi punti (nodi) le particelle di aria si muovono pochissimo mentre in altri punti (antinodi o ventri) si hanno spostamenti molto grandi. Il nodo è causato dall'opposizione delle due forze agenti sulle particelle d'aria. Una delle due onde tende a spostare le particelle in una direzione, l'altra onda in direzione opposta. Negli antinodi le forze si sommano, sicchè in tali punti gli spostamenti sono maggiori. Si ha allora che quando il microfono viene posto in un nodo la traccia risulta corta, mentre essa è lunga in corrispondenza di un antinodo. La distanza fra due successivi nodi o antinodi è uguale alla metà della lunghezza d'onda dell'oscillazione. La lunghezza d'onda potrà essere calcolata moltiplicando per due la distanza fra due nodi successivi.

ESPERIMENTO 11: TARATURA DEL CANALE X. (base dei tempi)

Circuito:

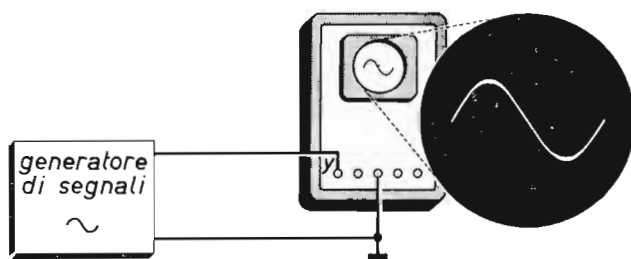



Fig. 11 *a* Fig. 11 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione di uscita del generatore di segnale su 1 V alla frequenza di 20 Hz.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino a vedere sullo schermo un'onda sinusoidale completa come in Fig. 11 *b*.

c) Si misura la larghezza dell'oscillogramma. Si legga la frequenza del generatore di segnali e di determini da ciò il periodo della tensione usata.

d) Si aumenta la frequenza del generatore fino ad ottenere 5 o 6 cicli sullo schermo. Si misuri la distanza fra i punti in cui la traccia passa per lo zero.

e) Si ripetono le misure dei punti *c* e *d* per altre velocità *X*. La frequenza della tensione del generatore dovrà essere adattata a queste velocità.

Spiegazione:

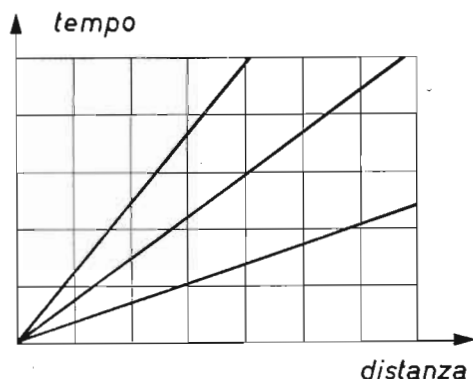



Fig. 11 *c*

Supponiamo che la velocità *X* sia di 1 m al secondo e che la larghezza dell' oscillogramma sia di 5 cm. Si ha allora che in un ventesimo di secondo il puntino luminoso descrive l'oscillogramma da sinistra a destra. Se al canale *Y* applichiamo un ciclo intero di tensione alternata che richieda un ventesimo di secondo (frequenza 20 Hz) e inizi quando il puntino luminoso è all'estremo sinistro, il puntino luminoso si muoverà non solo da sinistra a destra, ma anche dall'alto in basso durante questo tempo. Si ottiene così sullo schermo un'onda completa (punto *c*).

Se aumentiamo la frequenza del generatore di tensione, ad esempio fino ad ottenere cinque onde sullo schermo (punto *d*), il periodo di ciascuna onda risulta 0,01 secondi. La distanza fra due punti di zero successivi è allora 0,5 cm, che corrispondono a 5 millisecondi. Il risultato può essere riportato in un grafico per varie velocità *X*. Vedasi Fig. 11 *c*.

ESPERIMENTO 12: **CAMPO DELLE FREQUENZE AUDIO**

Circuito:

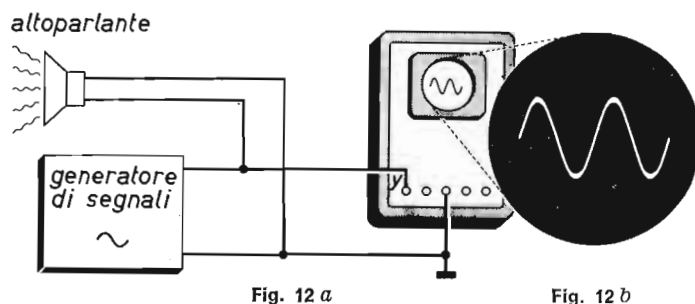



Fig. 12 *a* Fig. 12 *b*

Descrizione:

a) Si regola la frequenza del generatore di tensione su 1 kHz e si regola l'ampiezza fino a ottenere un suono chiaramente udibile prodotto dall'altoparlante.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere sullo schermo un oscillogramma come quello di Fig. 12 *b.*

c) Si aumenta o si diminuisce la frequenza del generatore di tensione fino a rendere inudibile il suono. Si misura il periodo dell'oscillazione in entrambi i casi, impiegando la curva di taratura dell'esperimento 11 (vedasi Fig. 11 *c*).

d) Dapprima si aumenti e poi si diminuisca la tensione di uscita del generatore di segnali. Si studino gli oscillogrammi e si noti l'intensità del suono.

e) Si ripete il punto *d* alle altre frequenze del campo udibile.

Spiegazione:

L'oscillazione può essere udita dall'orecchio umano solo se è compresa in un certo campo di frequenze. Questo campo può essere determinato mediante la misura indicata nel punto *c*. Esso si estende grossolanamente da 15 Hz a 20 kHz, a seconda della persona che ascolta e della sua età. Quanto più alta è la frequenza tanto più alta è l'altezza del suono e un maggior numero di onde sarà visibile sullo schermo. L'altezza di un suono dipende dal numero di oscillazioni al secondo ed è assolutamente indipendente dall'intensità del suono dell'altoparlante, come è dimostrato dal punto *d*, dove si vede che l'altezza dell'oscillogramma aumenta pur mantenendosi costante l'altezza del suono. Però, quando l'ampiezza dell'oscillazione aumenta, si sentirà un suono più forte. In conclusione, l'intensità del suono dipende dall'ampiezza dell'oscillazione. Se l'ampiezza è troppo piccola, il segnale risulta al di sotto della soglia di udibilità e non verrà sentito alcun suono. Se l'ampiezza è eccessivamente grande, si oltrepasserà la soglia di dolore e si avrà una sensazione di disagio. A differenza della soglia di dolore, la soglia di udibilità dipende molto dalla frequenza.

ESPERIMENTO 13: FREQUENZA NATURALE DI UN DIAPASON

Circuito:

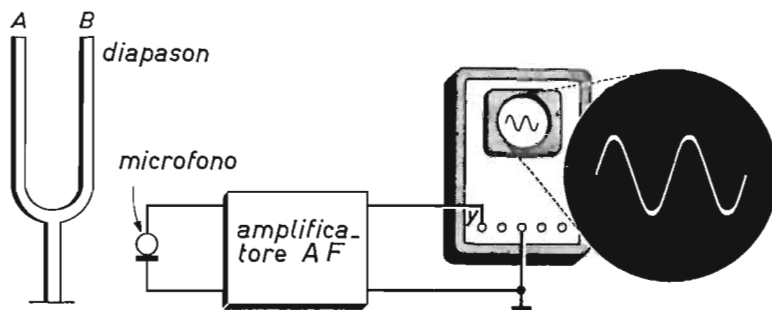



Fig. 13 *a* Fig. 13 *b*

Descrizione:

a) Si fa vibrare il diapason colpendo il punto *A* o *B.*

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad osservare sullo schermo la traccia di Fig. 13 *b.*

c) Si misura il periodo dell'oscillazione (Fig. 11 *c*) e si determina la frequenza di essa. Si osservi l'oscillogramma, rilevando che l'ampiezza diminuisce gradualmente.

d) Si fa vibrare ancora il diapason e si pone un secondo diapason dello stesso tipo vicino ad esso. Successivamente si smorzino le vibrazioni del primo diapason tenendo con le dita i punti *A* e *B.*

e) Si pone il microfono vicino al secondo diapason e si ripeta la misura indicata nel punto *c*). Se necessario, si aumenti l'amplificazione *Y.*

Spiegazione:

Un corpo può essere posto in vibrazione forzata a qualunque frequenza. In generale, deve essere applicata una quantità di energia relativamente grande per mantenerlo in vibrazione. Però, molti corpi (lastre, barre, molle, ecc.) hanno una marcata preferenza a vibrare su una data frequenza, che è la frequenza naturale. In generale, in questo caso, deve essere applicata una piccola energia. Se il corpo viene lasciato a sè dopo averlo posto in vibrazione, esso eseguirà una vibrazione smorzata alla sua frequenza naturale: se dopo un certo tempo l'ampiezza di oscillazione è diminuita a metà del suo valore originario, essa diminuirà ad un quarto dopo un tempo doppio, ad un ottavo dopo un tempo triplo e così via. Quando la vibrazione del diapason raggiunge il microfono, sullo schermo dell'oscilloscopio si ha una traccia praticamente sinusoidale. L'altezza dell'oscillogramma diminuisce in conformità con il suddetto processo naturale di smorzamento (punto *c*). Nel punto *d* viene dimostrata la risonanza. Il secondo diapason ha la stessa frequenza naturale del primo e viene posto in vibrazione dalle differenze di pressione dell'aria (compressione e rarefazione) prodotte dal primo diapason.

ESPERIMENTO 14: **VIBRAZIONE DI UNA CORDA**

Circuito:

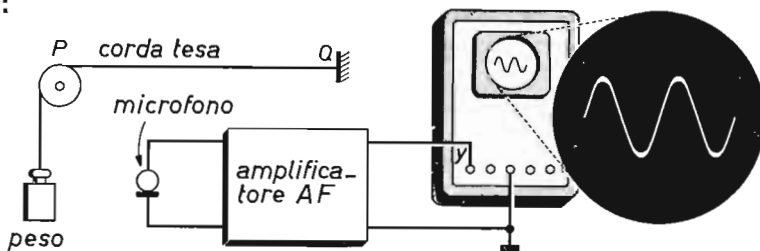



Fig. 14 *a* Fig. 14 *b*

Descrizione:

a) Una corda fissata nel punto *Q* viene mantenuta tesa mediante un peso. Si può provocare la vibrazione della corda percuotendola al centro fra *P* e *Q*.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere un oscillogramma come quello di Fig. 14 *b*.

c) Si misura il periodo dell'oscillazione mediante la curva di taratura dell'esperimento 11. Si osservi l'oscillogramma e si constati che l'ampiezza diminuisce gradualmente.

d) Si tiene fissa la corda al centro e la si percuote a un quarto della sua lunghezza. Si confronti il risultante oscillogramma con quello del punto *c*.

e) Si raddoppia il peso e si ripetano i punti *a* e *c*.

f) Si accorcia la corda riducendone a metà la lunghezza e si ripetano i punti *a* e *c*.

Spiegazione:

Quando la corda viene percossa, si generano onde trasversali che si propagano lungo di essa. Queste onde vengono riflesse alle estremità fisse *P* e *Q*. Le onde dirette e quelle riflesse si combinano in modo da formare onde stazionarie, con il risultato che in alcuni punti della corda (nodi) non si avrà alcuno spostamento, mentre lo spostamento è massimo in altri punti (antinodi). La distanza fra due nodi successivi è uguale alla metà della lunghezza dell'onda nella corda. Nel caso più semplice (punto *c*) i nodi avverranno nei punti *P* e *Q* e l'antinodo a metà della corda. La lunghezza *PQ* è quindi metà della lunghezza d'onda. Nel punto *d* si ha un nodo a metà della corda, oltre ai nodi nei punti *P* e *Q*. La distanza *PQ* è quindi la lunghezza d'onda. Nel punto *e* si constata che il periodo è inversamente proporzionale alla radice quadrata della tensione della corda. Ciò è dovuto al fatto che la velocità di propagazione aumenta secondo tale fattore, mentre la lunghezza d'onda rimane costante (la lunghezza d'onda è il prodotto della velocità di propagazione per il periodo dell'oscillazione). Quando la lunghezza della corda viene dimezzata (punto *f*) la lunghezza d'onda e il periodo vengono anch'essi dimezzati sicchè la frequenza di oscillazione risulta raddoppiata.

ESPERIMENTO 15: **OSSERVAZIONE E ASCOLTO DI UN SEGNALE AD ONDA QUADRA**

Circuito:

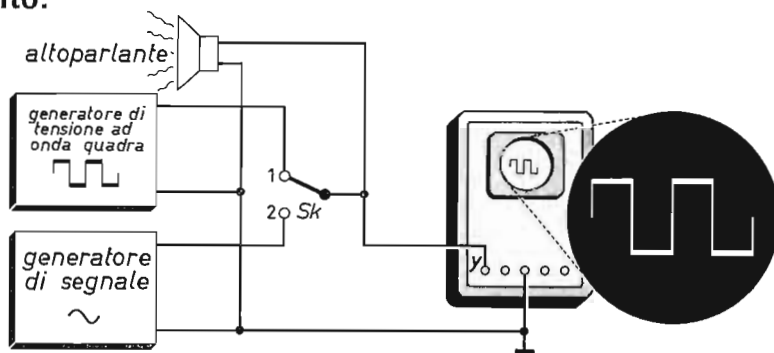



Fig. 15 *a* Fig. 15 *b*

Descrizione:

a) Si regolano entrambi i generatori sulla frequenza di 1 kHz. Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1 e si regola la tensione ad onda quadra fino ad ottenere dall'altoparlante un suono chiaramente udibile (rapporto di impulso 1 : 1).

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 15 *b*.

c) Si misura l'altezza dell'oscillogramma. Si ascolti il timbro del suono prodotto dall'altoparlante.

d) Si pone S_k sulla posizione 2 e si regola la tensione di uscita del generatore di segnali fino ad ottenere che l'altezza dell'oscillogramma sia uguale a quella del punto *c*. Si ascolti il timbro del suono.

e) Si ripetono i punti *a*, *c*. e *d* con frequenze più alte o più basse.

Spiegazione:

Le ampiezze e le frequenze delle oscillazioni nel punto *c* e *d* sono identiche, ma le sensazioni acustiche che esse producono sono nettamente differenti. I due segnali hanno un tono o timbro diverso. Le forme d'onda presentate visivamente sullo schermo sono anch'esse differenti. Quindi, il tono dipende dalla forma dell'oscillazione o, in altri termini, dal modo con cui un corpo (in questo caso il cono dell'altoparlante) oscilla. Si può combinare qualunque forma di oscillazione aggiungendo molte armoniche o overtoni sull'oscillazione sinusoidale (fondamentale) avente la data frequenza. Un'armonica è un'oscillazione sinusoidale la cui frequenza è un multiplo intero di quella fondamentale. La differenza di tono fra un'oscillazione sinusoidale e una non sinusoidale è dovuta a tali armoniche. Se il segnale è quasi sinusoidale, queste armoniche saranno molto piccole. Quanto più la forma di un'oscillazione differisce dalla sinusoide tanto più forti risulteranno le armoniche. Per esempio, un'oscillazione ad onda quadra consiste di un'onda fondamentale, di una terza, di una quinta, di una settima ecc. armonica. Non si hanno armoniche pari in un'onda quadra simmetrica (vedi esperimento 57).

ESPERIMENTO 16: SEGNALE DI USCITA DI UN RADIO-RICEVITORE

Circuito:

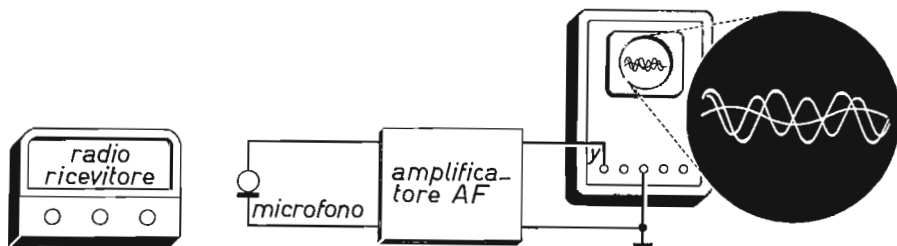



Fig. 16 *a* Fig. 16 *b*

Descrizione:

a) Si pone un microfono vicino a un radioricevitore che riproduca musica.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su «interno». Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere un oscillogramma simile a quello di Fig. *16 b.*

c) Esaminando questo oscillogramma si noterà che vi è un grande numero di oscillazioni che variano sia in ampiezza che in frequenza.

d) Si varia il comando di volume del radioricevitore mentre si osserva il risultato sullo schermo dell'oscilloscopio. Si noterà che l'ampiezza di tutto l'oscillogramma aumenta o diminuisce.

e) Si varia il comando di tono del radioricevitore e si osservino i risultati. Si noterà che l'oscillogramma contiene un minor numero di componenti a frequenza alta o a frequenza bassa.

f) Si sintonizza il radioricevitore su una stazione che stia trasmettendo voci e si osservi l'oscillogramma.

Spiegazione:

Un buon radioricevitore deve riprodurre fedelmente la musica captata dal microfono dello studio di ripresa radiofonico. Il controllo di volume (punto *d*) consente di regolare l'intensità media dei suoni conformemente al gusto personale dell'ascoltatore. Se, dopo aver variato il volume, si vuole mantenere la relazione corretta fra i vari campi di tonalità, si userà il controllo di tono (punto *e*). Generalmente, man mano che il livello sonoro viene ridotto si debbono attenuare i toni a frequenza alta rispetto ai toni a frequenza bassa.

Alcuni ascoltatori preferiscono ascoltare la musica con molte note basse, mentre altri preferiscono la musica ricca di note alte. Per tale motivo molti radioricevitori sono dotati di un commutatore parola-musica. La ragione è che la parola può essere compresa molto meglio quando vengono riprodotte solo le frequenze da 300 a 3.500 Hz, mentre le frequenze più alte vengono eliminate.

ESPERIMENTO 17: **VIBRAZIONE DI UNA CORDA DI PIANOFORTE**

Circuito:

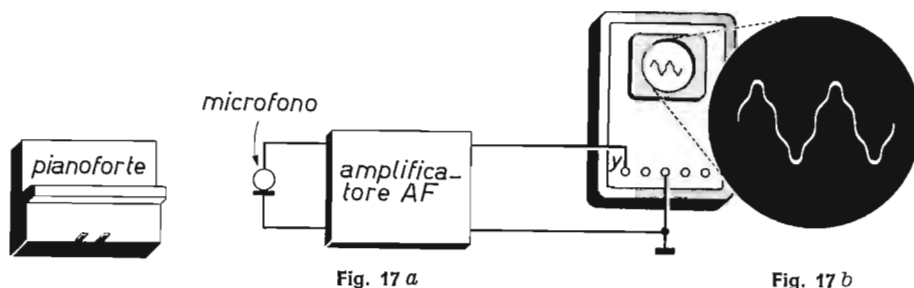



Fig. 17 *a* Fig. 17 *b*

Descrizione:

a) Si batte sul tasto *Do* di centro (*c'*) di un pianoforte e si capta questo suono con un microfono.

b) Si regola il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno ». Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 17 *b.*

c) Si misura il periodo usando la tabella di taratura dell'esperimento 11. Si studi la forma della vibrazione e si noti che l'ampiezza gradualmente diminuisce.

d) Si battono i tasti compresi fra il *Do* di centro (*c'*) e il *Do* della prima ottava superiore (*c''*) e si ripeta la misura descritta nel punto *c* per ogni nota.

e) Si battono i seguenti tasti: *Do - Do* (*c' - c''*) (ottava), *Do - Sol* (*c' - g'*) (quinta), *Do - Fa* (*c' - f'*) (quarta), *Do - Mi* (*c' - e'*) (terza) e si studino gli oscillogrammi risultanti.

f) Si ripete il punto *a* e si prema dapprima il pedale di sinistra e poi quello di destra. Si osservi l'effetto sulla forma dell'oscillogramma.

Spiegazione:

La scala musicale è divisa in un certo numero di ottave, ciascuna delle quali copre sette toni interi corrispondenti ai tasti bianchi di un pianoforte. Le varie note di un'ottava sono indicate dalle lettere *c-d-e-f-a-b,* corrispondenti a *Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si.* Una distinzione fra le varie ottave può essere fatta secondo la notazione edi Helmholz, impiegando lettere minuscole e maiuscole e indici. Una tastiera di pianoforte comprende le note da A_2 (*La* della terza ottava inferiore) ad *a''''* (*La* della terza ottava superiore). Le frequenze delle note di un'ottava sono del seguente rapporto: 24: 27: 30: 32: 36: 40: 45: 48. La frequenza del *La* (*a'*) è stata fissata a 440 Hz. La frequenza del *Do* (*c'*) è allora uguale a (24/40) · 440 ossia 264 Hz (vedi punto *a*). La frequenza del *Do* della prima ottava superiore (*c''*) è perciò di 528 Hz (vedi il punto *d*). Si ottiene un effetto armonico quando vengono eccitate insieme due note tali che il rapporto delle loro frequenze sia un numero piccolo. Nel punto *e* per esempio i rapporti di frequenze sono: 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4, 4 : 5.

ESPERIMENTO 18: **BATTIMENTO ACUSTICO**

Circuito:

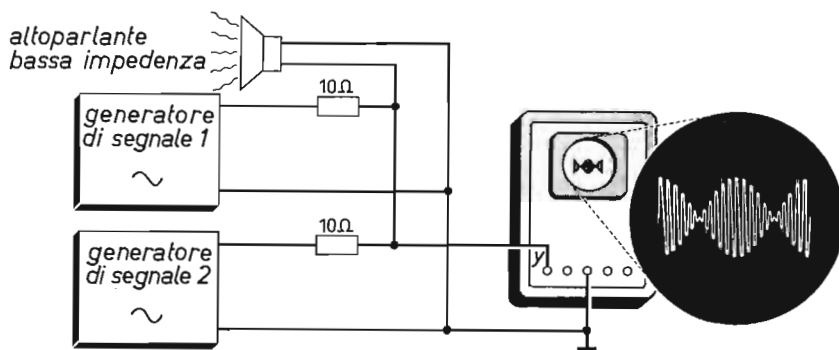



Fig. 18 *a* Fig. 18 *b*

Descrizione:

a) Si pongano i generatori sulla stessa frequenza (per esempio 1 kHz). Si disattiva il primo generatore e si regola la tensione fino ad ottenere dell'altoparlante un suono chiaramente udibile; si noti l'altezza dell'oscillogramma sull'oscilloscopio. Poi si disattiva il secondo generatore e si regola la tensione del primo fino ad ottenere la stessa altezza di oscillogramma. Se ora entrambi i generatori vengono collegati alla maniera indicata nella Fig. 18 *a*, si udrà un suono che varia in intensità.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno ». Si regolano l'amplicazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella rappresentata in Fig. 18 *b*.

c) Si regoli l'uscita e la frequenza di ciascun generatore. Si osservi il risultato sull'oscilloscopio e si ascoltino gli effetti prodotti dall'altoparlante.

Spiegazione:

Supponiamo che in un certo istante entrambi i segnali vengano ricevuti al loro massimo valore positivo. In quell'istante la corrente che attraversa l'altoparlante è anch'essa massima dato che i segnali, essendo in fase, si rinforzano fra loro. L'altoparlante produrrà allora un suono molto forte e l'immagine sullo schermo dell'oscilloscopio raggiungerà la massima altezza. Se la differenza di frequenza dei segnali è di 1 Hz, i segnali risulteranno esattamente in opposizione di fase dopo mezzo secondo, sicchè essi tendono ad annullarsi reciprocamente. La corrente nell'altoparlante è allora minima e si udrà un suono più debole. In questo istante l'altezza dell'oscillogramma è minima. Così, si osserverà un ciclo completo di rinforzo — opposizione — rinforzo per ogni secondo, ossia si avrà un battimento al secondo. Se la differenza di frequenza dei segnali è di *a* Hz, avverranno *a* battimenti per ogni secondo. Quindi se la differenza di frequenza aumenta (punto *c*) si avrà un maggior numero di battimenti, ossia si osserverà un'oscillazione più rapida. Se l'ampiezza di uno dei due segnali viene ridotta, il minimo risulterà più grande e il massimo più piccolo, dato che il segnale totale è quasi interamente formato dal segnale maggiore. I battimenti saranno quindi meno forti e il suono presenterà una variazione minore.

ESPERIMENTO 19: **VELOCITA' DEL SUONO NELL'ARIA**

Circuito:

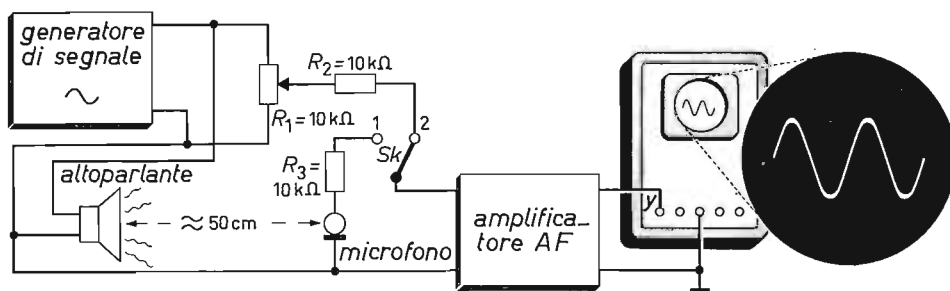



Fig. 19 *a* Fig. 19 *b*

Descrizione:

a) Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1. Si regola la tensione del generatore fino a che il suono captato dal microfono sia sufficientemente forte così da produrre un oscillogramma di altezza misurabile. Si regola la frequenza su 1 kHz.

b) Si pone S_k sulla posizione 2 e si regola R_1 fino a che l'altezza dell'oscillogramma sia uguale a quella di *a.*

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* finchè l'oscillogramma assuma la forma di Fig. 19 *b.*

d) Si misuri il periodo dell'oscillazione, usando la curva di taratura dell'esperimento 11.

e) Si collegano i punti 1 e 2. Si sposti il microfono in direzione orizzontale e si misuri la distanza fra i punti nei quali l'altezza dell'oscillogramma è minima. Si calcoli la velocità di propagazione del segnale.

Spiegazione:

Il tragitto che un'oscillazione compie in un periodo è denominato lunghezza d'onda. La lunghezza d'onda è perciò il prodotto della velocità di propagazione per il periodo. Quando il cono dell'altoparlante si muove in avanti, l'aria dinanzi al cono viene compressa (la pressione dell'aria aumenta). Questa variazione di pressione si propaga verso il microfono. In un periodo quest'onda di pressione avrà percorso una distanza uguale alla lunghezza d'onda, sicchè in mezzo periodo la distanza coperta è uguale a metà della lunghezza d'onda. Se ora il microfono viene posto mezza lunghezza d'onda più distante dall'altoparlante, il cono dell'altoparlante si muoverà verso indietro quando l'onda di pressione raggiunge il microfono. Ciò significa che i segnali dell'altoparlante e del microfono sono in opposizione di fase, sicchè l'altezza dell'oscillogramma risulterà minima se questi due segnali vengono osservati simultaneamente sullo schermo dell'oscilloscopio. Segue che l'altezza della traccia raggiunge il minimo quando la distanza fra microfono e altoparlante è un multiplo dispari di mezza lunghezza d'onda (punto *e*). La distanza fra due minimi successivi è allora la lunghezza d'onda. Siccome il periodo dell'oscillazione è noto (punto *d*), si può determinare la velocità di propagazione.

ESPERIMENTO 20: **EFFETTO DOPPLER**

Circuito:

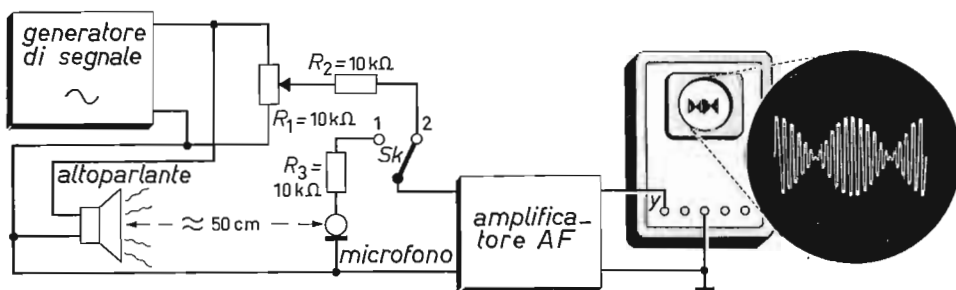



Fig. 20 *a* Fig. 20 *b*

Descrizione:

a) Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1 e si regola il generatore di tensione fino a che il suono captato dal microfono sia sufficientemente forte da produrre un oscillogramma di altezza misurabile. Si ponga la frequenza su 6 kHz.

b) Si pone S_k sulla posizione 2 e si regola R_1 fino a che l'altezza dell'oscillogramma sia la stessa come nel punto *a.*

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e la velocità *X* sul valore più basso per il quale si ottenga un oscillogramma completo e stabile.

d) Si collegano i punti 1 e 2. Si sposti rapidamente il microfono avanti e indietro in direzione orizzontale fino ad ottenere l'oscillogramma illustrato nella Fig. 20 *b.*

e) Si ripete il punto *d* spostando l'altoparlante invece del microfono.

Spiegazione:

Supponiamo che la velocità del suono nell'aria sia di 300 m/s. La lunghezza d'onda per una frequenza di 6.000 Hz risulterà allora di 5 cm. Se il microfono viene spostato verso l'altoparlante ad una velocità di 0,5 m/s, il microfono riceverà 10 onde in più per secondo. La frequenza del segnale del microfono risulterà allora 6.010 Hz invece di 6.000 Hz. Se il microfono si sposta a destra ad una velocità, ad esempio, di 5 m/s, esso perderà 100 onde al secondo. La frequenza del segnale del microfono risulterà allora 5.900 Hz invece di 6.000 Hz. Un effetto simile si ottiene spostando l'altoparlante. La diminuzione o l'aumento di frequenza prodotto dal movimento della sorgente sonora e/o dell'osservatore è chiamato effetto Doppler. La diminuzione o l'aumento dipende dalla velocità di spostamento della sorgente rispetto all'osservatore. Siccome il segnale dell'altoparlante e il segnale del microfono sono applicati contemporaneamente all'oscilloscopio, quando il microfono (punto *d*) oppure l'altoparlante (punto *e*). viene spostato si otterrà un oscillogramma con massimi e minimi. Siò è dovuto al fatto che i due segnali producono battimenti, come si è visto nell'esperimento 18.

ESPERIMENTO 21: **TARATURA IN TENSIONE DEL CANALE X**

Circuito:

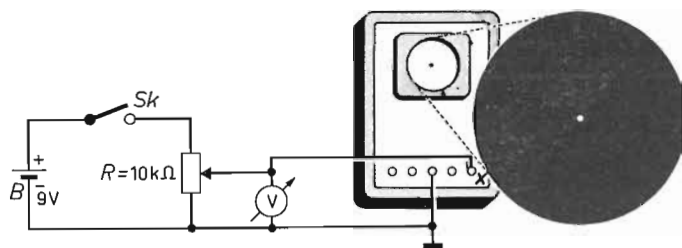



Fig. 21 *a* Fig. 21 *b*

Descrizione:

a) Si apre l'interruttore S_k e si sposta il cursore di *R* verso il basso.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e « *DC* ». Si regolano la posizione *X* e *Y* e i controlli del fuoco e l'intensità fino a ottenere un puntino luminoso appena visibile al centro dello schermo. Si ricordi che un puntino eccessivamente luminoso provocherà un « foro di bruciatura » nello schermo.

c) Si chiude S_k e si sposta verso l'alto il cursore di *R*. Si prenda nota delle successive posizioni del puntino luminoso e delle corrispondenti letture del voltmetro *V*.

d) Si inverte l'inserzione della batteria *B* e del voltmetro e si ripeta il punto *c*.

e) Si ripetono i punti *c* e *d* per altre posizioni dell'attenuatore.

Spiegazione:

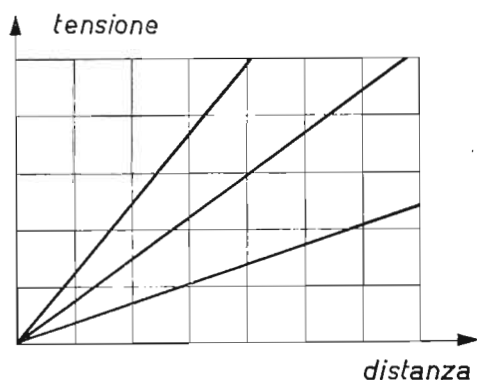



Fig. 21 *c*

Le placchette deflettrici che provocano la deflessione orizzontale sono collegate in modo che il pennello elettronico venga deviato verso destra quando la tensione applicata al canale *X* è positiva rispetto al terminale di massa. Il puntino luminoso pertanto si muove verso destra man mano che il cursore viene spostato in alto (punto *c*). Eseguendo un grafico tra le indicazioni del voltmetro e gli spostamenti del puntino luminoso, si ottiene una curva di taratura come quella mostrata in Fig. 21 *c*.

Se si inverte il collegamento della batteria, la tensione applicata al canale *X* sarà negativa rispetto al terminale di massa. Il puntino luminoso allora si sposterà verso sinistra man mano che il cursore viene spostato verso l'alto. Si possono tracciare analoghi grafici per altre posizioni dell'amplificatore orizzontale.

ESPERIMENTO 22: DEFLESSIONE X E Y CON TENSIONI CONTINUE

Circuito:

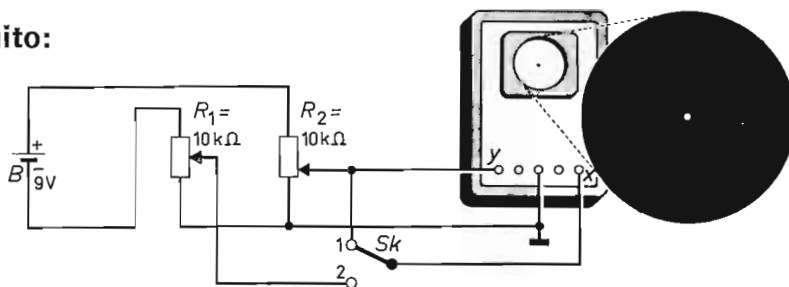



Fig. 22 *a* Fig. 22 *b*

Descrizione:

a) Si pone il commutatore S_k in posizione 1 e il cursore di R_2 vicino al terminale di massa.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « *DC* ». Si regolino le posizioni *X* e *Y*, il fuoco e l'intensità fino a ottenere un puntino luminoso appena visibile, molto nitido, al centro dello schermo.

c) Si sposta il cursore di R_2 verso l'alto e si regolino le amplificazioni *X* e *Y* fino a portare il puntino luminoso in alto a destra sullo schermo.

d) Si sposta il cursore di R_2 verso il basso e si segua il puntino luminoso sullo schermo.

e) Si inverte la batteria *B* e si sposta il cursore di R_2 ancora verso l'alto; si prenda nota del risultato.

f) Si collega *B* come indicato e si pone S_k nella posizione 2. Si muovino i cursori di R_1 e R_2 entrambi verso il basso e, dopo aver invertito *B*, entrambi verso d'alto.

Spiegazione:

Le direzioni secondo cui il puntino luminoso si sposta quando vengono applicate tensioni ai canali *X* e *Y* sono le normali direzioni *X* e *Y* di un sistema di coordinate cartesiane (vedi esperimenti 1 e 21). Dopo aver effettuato le operazioni da *a* a *c*, il puntino luminoso risulta in alto a destra sullo schermo. Quando il cursore di R_2 viene spostato verso il basso (punto *d*), le tensioni *X* e *Y* variano insieme sicchè il puntino luminoso si sposta lungo una retta dall'angolo destro in alto al centro dello schermo. Se si inverte la batteria e si porta il cursore di R_2 verso il basso (punto *e*) il puntino luminoso si sposta dal centro dello schermo verso l'angolo sinistro in basso dello schermo. I potenziometri R_1 e R_2 sono dello stesso tipo, sicchè R_1 agisce su metà della tensione della batteria e R_2 agisce sull'altra metà. Quando il commutatore è nella posizione 2 (punto *f*), la batteria collegata come mostrato nello schema ed i cursori di R_1 ed R_2 sono in basso, il puntino luminoso risulterà in alto a sinistra. Quando i cursori di R_1 e R_2 vengono spostati entrambi in basso, la batteria invertita e i cursori vengono riportati ancora in alto, le tensioni *X* e *Y* risulteranno uguali ed opposte fra loro. Il puntino luminoso si muove allora lungo una linea retta che dall'angolo a sinistra in alto dello schermo va all'angolo a destra in basso.

ESPERIMENTO 23: **DEFLESSIONE X E Y CON TENSIONI SINUSOIDALI**

Circuito:

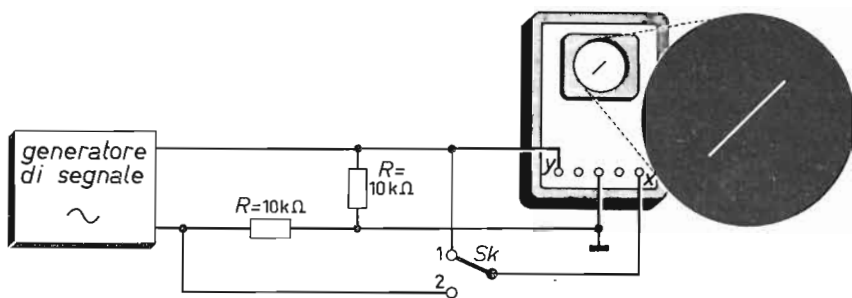



Fig. 23 *a* Fig. 23 *b*

Descrizione:

a) Si pone il commutatore S_k in posizione 1. Si regola la tensione di uscita del generatore di segnale su 10 V e la frequenza su 1 kHz.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regola l'amplificazione *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 23 *b.*

c) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si confronta il risultato con quello del punto *b.*

d) Si regola il generatore di segnali sulla frequenza minima. Si porta S_k dapprima sulla posizione 1 e poi nella posizione 2 e si confrontino i risultati.

e) Si aumenta l'amplificazione *X*, poi la si diminuisce e la si riporta al suo valore originario. Lo stesso si faccia con l'amplificazione *Y.* Si esaminino i risultati e si dia una spiegazione ad essi.

Spiegazione:

Nell'esperimento 22 viene regolata manualmente, ossia con metodo statico, l'ampiezza e la polarità delle tensioni *X* e *Y*. Nell'esperimento 23 ciò viene effettuato automaticamente (dinamicamente). Con S_k sulla posizione 1, le tensioni applicate ai canali *X* e *Y* divengono positive, zero e negative contemporaneamente. La tensione è quella del generatore di segnali, che varia in ampiezza e polarità. Con S_k sulla posizione 2 (punto *c*), la tensione *X* in qualunque momento è uguale ed opposta alla tensione *Y*. Se la frequenza è molto bassa (punto *d*) si può vedere il movimento del puntino luminoso. Si può allora ottenere sullo schermo la stessa traccia come quella che si ha nell'esperimento 22, però con una successione molto rapida. Se la frequenza è più alta non si vedrà più un puntino luminoso ma si otterrà una linea continua che va dall'angolo destro in alto dello schermo all'angolo sinistro in basso, passando per il centro dello schermo (con S_k sulla posizione 1) oppure dall'angolo sinistro in alto all'angolo destro in basso, sempre passando per il centro (con S_k sulla posizione 2). In generale l'immagine consiste di una retta, dato che le tensioni applicate ai canali *X* e *Y* sono sempre proporzionali fra loro. La pendenza di questa retta dipende dal rapporto delle tensioni *X* e *Y* (punto *e*).

ESPERIMENTO 24: CARATTERISTICA CORRENTE-TENSIONE DI UNA RESISTENZA

Circuito:

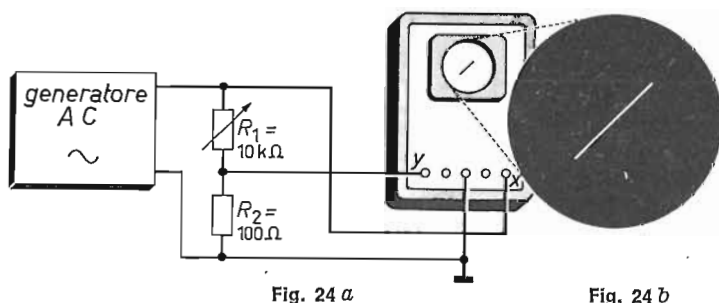



Fig. 24 *a* Fig. 24 *b*

Descrizione:

a) Si pone la resistenza variabile R_1, di cui si vuol tracciare la caratteristica corrente-tensione, sul suo valore massimo.

b) Si regola la tensione di uscita di un generatore di « *AC* » (trasformatore variabile di rete oppure generatore di segnali) su 10 V alla frequenza di 50 Hz.

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regola l'amplificazione *X* e *Y* fino a ottenere la traccia di Fig. 24 *b.*

d) Si calcoli il rapporto fra le tensioni di deflessione verticale e orizzontale.

e) Si dimezza la resistenza variabile e si ripete il punto *d.*

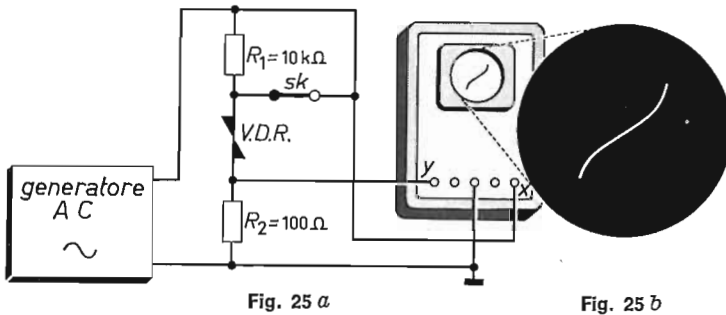
f) Si aumenta o si diminuisce R_1 e si confronti il risultato con quello del punto *c* (senza ritoccare le amplificazioni *X* e *Y*).

Spiegazione:

L'ampiezza della corrente che attraversa la resistenza R_2 dipende praticamente solo da R_1, a parità di ampiezza della tensione del generatore, dato che R_1 è molto più grande di R_2. Per la stessa ragione, la caduta di tensione su R_1 è praticamente uguale alla tensione del generatore. La traccia sullo schermo va dall'angolo destro in alto all'angolo sinistro in basso, passando per il centro. In base all'esperimento 23, ciò significa che le tensioni *X* e *Y* sono proporzionali. La tensione *X*, ossia la tensione su R_1 è fornita dal generatore di tensione mentre la tensione *Y* è costituita dalla tensione su R_2, e siccome R_2 è una resistenza pura, la tensione su essa risulta proporzionale alla corrente che l'attraversa. In breve, la deflessione *Y* è proporzionale alla corrente che attraversa R_1 e la deflessione *X* è proporzionale alla tensione su R_1. L'oscillogramma è denominato caratteristica corrente-tensione della resistenza R_1. Se R_1 viene dimezzata (punto *e*), la tensione su R_1 (tensione del generatore) rimane invariata, sicchè la deflessione *X* rimane anch'essa invariata. La deflessione *Y* (proporzionale alla corrente che attraversa R_1) viene però raddoppiata, sicchè la pendenza dell'oscillogramma (rapporto fra la deflessione orizzontale e quella verticale) viene anch'essa raddoppiata.

ESPERIMENTO 25: CARATTERISTICA TENSIONE-CORRENTE DI UNA V.D.R. (resistenza dipendente dalla tensione)

Circuito:

Fig. 25 *a* Fig. 25 *b*

Descrizione:

a) Si chiude l'interruttore S_k. Si usi una resistenza dipendente dalla tensione (V.D.R.) di tipo tale da avere una resistenza di circa 10 kΩ a 10 V.

b) Si regola l'uscita del generatore di « *AC* » (trasformatore variabile di rete o generatore di segnali) su 10 V, alla frequenza di 50 Hz.

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno ». Si regola l'amplificazione *X* e *Y* fino a ottenere la traccia di Fig. 25 *b*.

d) Si studia questo oscillogramma; si osservi l'effetto stabilizzatore di tensione.

e) Si regola la tensione di uscita del generatore su alcuni valori più bassi e si confronti l'oscillogramma risultante con quello del punto *c*.

f) Si apre S_k e si ripeta il punto *b* confrontando il risultato con quello del punto *c*.

Spiegazione:

La resistenza R_2 è piccola rispetto a quella della V.D.R. e perciò non influisce sensibilmente sulla corrente che attraversa quest'ultima. Inoltre, quando l'interruttore è chiuso, la tensione sulla V.D.R. è praticamente uguale alla tensione del generatore. La deflessione *X* è quindi dovuta alla tensione sulla V.D.R. e la deflessione *Y* rappresenta una tensione proporzionale alla corrente che attraversa la V.D.R. La traccia prodotta a questo modo è una curva, ossia la corrente e la tensione attraverso la V.D.R. non sono proporzionali fra loro. Quando la tensione è massima (il puntino luminoso è allora in alto a destra sullo schermo), la deflessione *Y* è molto più grande. Il rapporto fra tensione e corrente diminuisce man mano che la tensione aumenta: questa è la caratteristica della resistenza V.D.R. Quando la tensione del generatore viene ridotta (punto *e*) essa non raggiunge più il valore per il quale la corrente aumenta non proporzionalmente. Solo la V.D.R. « lavora » quando la tensione raggiunge un certo valore. Quando l'interruttore è aperto (punto *f*) l'oscillogramma si riferisce alla combinazione in serie di V.D.R. e R_1. Parte del circuito è ora puramente ohmica, ed è questa la ragione per cui la curvatura della traccia è minore.

ESPERIMENTO 26: CARATTERISTICA TENSIONE-CORRENTE DI UN DIODO TERMOIONICO

Circuito:

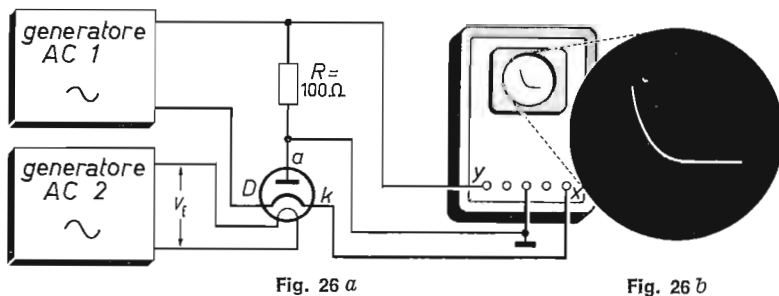



Fig. 26 *a* Fig. 26 *b*

Descrizione:

a) Si porta a zero la tensione del generatore 1 e si regola quella del generatore 2 sulla tensione normale di accensione del filamento (V_f). Entrambi i generatori sono trasformatori di rete variabili.

b) Si pone il canale *X* su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « *DC* ». Si porta il puntino luminoso a circa 2 cm sotto il centro dello schermo, mediante i comandi di posizione *X* e *Y*. Successivamente si regola la tensione del generatore 1 e l'amplificazione *X* e *Y* fino a ottenere una traccia come quella di Fig. 26 *b*.

c) Si varia la tensione di uscita del generatore 2 portandola successivamente a $0{,}75\, V_f$, $0{,}5\, V_f$ e $0{,}25\, V_f$ e si confrontino gli oscillogrammi risultanti con quello del punto *b*.

d) Si aumenta la tensione del generatore 1 in modo da rendere evidente la « regione di saturazione ». Questa misura dovrà essere condotta con una tensione di accensione del filamento di $0{,}25\, V_f$.

Spiegazione:

La posizione del puntino luminoso dopo la regolazione del punto *b* è denominata « punto zero » e corrisponde all'origine di un sistema di coordinate cartesiane. Se la tensione del generatore 1 viene aumentata, osserveremo una forte deflessione *Y* al di sopra del punto zero per valori negativi della tensione *X*. Siccome la deflessione *Y* è proporzionale alla corrente nel diodo, ciò significa che circola una forte corrente nel diodo quando il catodo *k* è sufficientemente negativo rispetto all'anodo *a*. Quando la tensione *X* è positiva (a destra del punto zero) non si ha alcuna deflessione *Y*, ciò significa che non vi è alcuna corrente nel diodo quando *k* è positivo rispetto ad *a*. Il diodo termoionico fa passare corrente solo in una direzione, ossia dall'anodo al catodo. Quando la tensione di accensione è più bassa (punto *c*) la temperatura catodica, e quindi l'emissione elettronica, sono più basse. La corrente nel diodo, che è causata dagli elettroni, è quindi più bassa, sicchè l'oscillogramma nella regione conduttrice è meno ripido. Quando tutti gli elettroni emessi dal catodo raggiungono l'anodo, la corrente nel diodo non subirà alcun aumento all'aumentare della tensione sul diodo (punto *d*). La caratteristica allora si appiattisce e si dice che il diodo è saturato.

ESPERIMENTO 27: CARATTERISTICA CORRENTE-TENSIONE DI UN DIODO A CRISTALLO

Circuito:

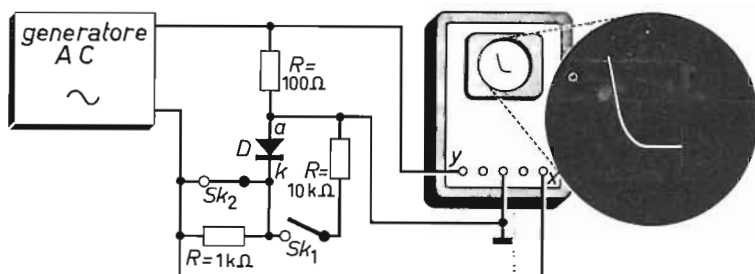



Fig. 27 *a* Fig. 27 *b*

Descrizione:

a) Si apre l'interruttore S_{k1} e si chiude S_{k2}. Si regola la tensione del generatore a zero; questo generatore può essere un trasformatore variabile di rete o un generatore di segnali.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « *DC* ». Si porta il puntino luminoso è circa 2 cm sotto il centro dello schermo, mediante i comandi di posizione *X* e *Y*, e quindi si regolano la tensione del generatore e le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 27 *b*.

c) Si indicano le regioni conduttrice e di interdizione del diodo *D*.

d) Si chiude S_{k1} e si confronti la regione di interdizione con quella del punto *b*.

e) Si apre S_{k1} e S_{k2} e si confronti la regione conduttrice con quella del punto *b*.

f) Si chiude S_{k1} e si apre S_{k2}. Si osservino entrambe le regioni di conduzione e di interdizione.

Spiegazione:

L'oscillogramma prodotto nel punto *c* mostra una forte deflessione *Y* quando la tensione *X* è negativa e una piccolissima deflessione quando la tensione *X* è positiva. Ciò significa che il diodo a cristallo lascia passare una corrente relativamente forte dall'anodo *a* al catodo *k* (nella direzione diretta) e una corrente trascurabile nella direzione inversa. Tanto il diodo a cristallo quanto il diodo termoionico dell'esperimento 26 possono essere quindi considerati come una valvola. Nel punto *d* la corrente che circola attraverso la resistenza in parallelo da 10 kΩ è grande in confronto con la corrente inversa ed è piccola in confronto con la corrente diretta. L'oscillogramma risulterà perciò molto alterato a destra del punto zero e poco alterato a sinistra. Nel punto *e* vi è una caduta di tensione sulla resistenza da 1 kΩ. Quando attraverso il diodo circola la corrente inversa questa tensione è molto piccola, ma quando circola la corrente diretta è molto grande. L'oscillogramma non verrà quindi apprezzabilmente alterato a destra del punto zero, ma verrà alterato considerevolmente a sinistra di questo punto, dove risulta meno inclinato. L'oscillogramma del punto *f* differisce da quello del punto *c* tanto a destra che a sinistra del punto zero.

ESPERIMENTO 28: **CARATTERISTICA CORRENTE-TENSIONE DI UN DIODO A GAS**

Circuito:

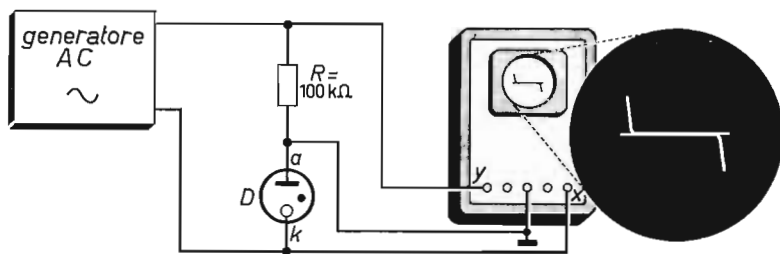



Fig. 28 *a* Fig. 28 *b*

Descrizione:

a) Si sceglie un diodo a gas del tipo usato come indicatore di tensione. Il generatore di « *AC* » è un trasformatore variabile di rete; si porti a zero la tensione di tale trasformatore.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « *DC* ». Si porta il puntino luminoso al centro dello schermo mediante i comandi di posizione *X* e *Y* e si regolano la tensione del generatore e l'amplificazione *X* e *Y* fino a ottenere la traccia di Fig. 28 *b*.

c) Si indicano sull'oscillogramma le tensioni di innesco e di regime del diodo.

d) Si regola la tensione del generatore fino a che il diodo inneschi appena in una direzione. Si controlli se il diodo innesca ugualmente in entrambe le direzioni.

Spiegazione:

A sinistra e a destra del punto zero l'oscillogramma è quasi orizzontale per un certo tratto, dato che alle basse tensioni praticamente non vi sono portatori di carica nel tubo a gas. Quando la tensione sul tubo raggiunge un certo valore (tensione di innesco) il gas inerte diviene fortemente ionizzato e si generano portatori di carica sotto forma di ioni di gas. Allora circola una corrente, che provoca una caduta di tensione sulla resistenza. La tensione sul diodo scende alla tensione di regime, che praticamente è indipendente dalla corrente nel diodo. Il diodo a gas è allora innescato e in questa posizione di equilibrio si può vedere un bagliore nell'interno del tubo. La parte dell'oscillogramma corrispondente all'innesco è praticamente una linea verticale. La transizione tra le regioni di innesco e di spegnimento è piuttosto brusca. Se il catodo *k* e l'anodo *a* hanno la stessa forma, dimensione e composizione, l'oscillogramma risulta simmetrico rispetto al punto zero. Se *k* e *a* sono differenti non si ha questa simmetria (punto *d*).

ESPERIMENTO 29: CAMPO DI FUNZIONAMENTO DI UN DIODO ZENER

Circuito:

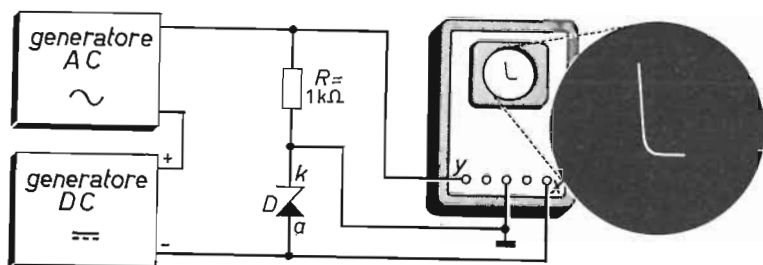



Fig. 29 *a* Fig. 29 *b*

Descrizione:

a) Il diodo Zener abbia una tensione di lavoro di circa 10 V. Si portano a zero la tensione e la corrente alternata. Il generatore « *DC* » sviluppa una tensione continua variabile, mentre il generatore « *AC* » di tensione alternata è un trasformatore variabile di rete o un generatore di segnali.

b) Si pone il canale *X* su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « *DC* ». Si pone il puntino luminoso nell'angolo in basso a destra dello schermo mediante i comandi di posizione *X* e *Y*.

c) Si porta a 20 V la tensione « *DC* ». Si regolano la tensione alternata e le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 29 *b*.

d) Si studi l'oscillogramma e si indichi il campo di lavoro del diodo.

e) Si variano le tensioni continua ed alternata e si spieghi cosa si osserva.

Spiegazione:

Se l'ampiezza della tensione alternata è uguale a quella della tensione continua, la tensione *X* sarà sempre negativa oppure zero. Il punto a destra dell'oscillogramma coincide con il punto zero fissato come descritto nel punto *b* e allora vedremo soltanto quella parte della caratteristica del diodo per la quale l'anodo *a* è negativo rispetto al catodo *k*. Si vede che l'oscillogramma parte orizzontalmente dal punto zero e si piega verso l'alto per un dato valore di tensione *X* ben preciso (la tensione Zener). Il campo di lavoro (punto *d*) è caratterizzato dal fatto che la tensione sul diodo è quasi indipendente dalla corrente nel diodo. Se la tensione applicata (*AC* + *DC*) è maggiore della tensione Zener (punto *e*) avviene che un aumento della componente continua avrà un forte effetto sulla deflessione *X* mentre un aumento della componente alternata provocherà soltanto un aumento della deflessione *X* nella parte destra dell'oscillogramma. La tensione totale applicata al diodo non può quindi oltrepassare la caratteristica del diodo, il quale fornisce quindi una certa stabilizzazione di tensione. Il diodo Zener è infatti usato frequentemente a tale scopo.

ESPERIMENTO 30: CAMPO DI LAVORO DI UN DIODO DI RIFERIMENTO A GAS

Circuito:

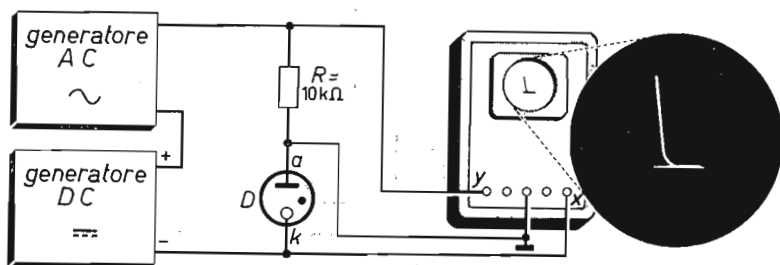



Fig. 30 *a* Fig. 30 *b*

Descrizione:

a) Si usi un diodo *D* di riferimento a gas con tensione di lavoro di circa 100 V. Si annullano le tensioni « *AC* » e « *DC* ». Il generatore « *DC* » fornisce una tensione continua variabile mentre il generatore « AC » è un trasformatore variabile di rete.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e i canali *X* e *Y* sulla posizione « *DC* ». Si porti il puntino luminoso in basso a destra sullo schermo con l'aiuto dei comandi di posizione *X* e *Y*.

c) Si porta a 200 V la tensione continua e si regola la tensione alternata e l'amplificazione *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 30 *b*.

d) Si studi l'oscillogramma e si indichi il campo di lavoro del diodo.

e) Si variano le tensioni alternata e continua e si osservi cosa avviene.

Spiegazione:

La caratteristica completa corrente-tensione di un diodo a gas è stata ricavata nell'esperimento 28. Un tipo speciale di diodo a gas è il diodo di riferimento a gas. Esso generalmente viene usato nello stato « acceso », con l'anodo *a* positivo rispetto al catodo *k*. Il punto *c* fornisce la caratteristica corrente-tensione per tensioni anodo-catodo positive (l'ampiezza della tensione alternata è uguale alla tensione continua). L'oscillogramma consiste di una parte orizzontale e di una parte inclinata, e somiglia molto a quello dell'esperimento 29 (diodo Zener). Nel campo di lavoro, osservato nel punto *d* (parte in salita della curva) la tensione sul diodo è praticamente indipendente dalla corrente nel diodo, sicchè mediante il diodo si può ottenere un effetto stabilizzatore. Per esempio, se la tensione applicata varia da 150 a 250 V (punto *f*) mentre il tubo di riferimento ha una tensione di innesco (al centro del campo di lavoro) di 100 V, allora ai capi del tubo, ossia fra i terminali *a* e *k*, si forma una tensione di 100 V praticamente stabile; la tensione sul diodo non può variare sensibilmente finchè il tubo rimane innescato.

ESPERIMENTO 31: CONDENSATORE IN UN CIRCUITO A CORRENTE CONTINUA

Circuito:

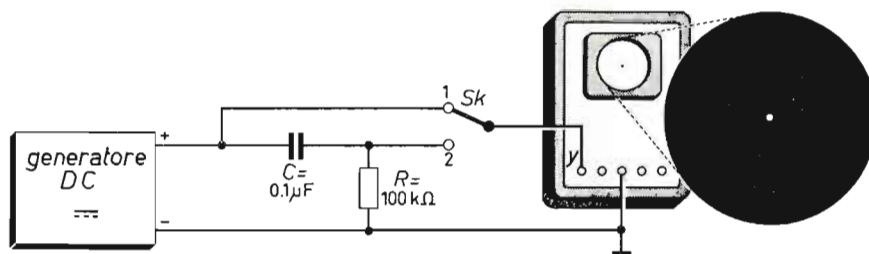



Fig. 31 *a* Fig. 31 *b*

Descrizione:

a) Si porta a zero la tensione « *DC* » e si pone il commutatore S_k sulla posizione 1.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si agisce sui comandi di posizione *X* e *Y*, sul fuoco e sull'intensità fino a ottenere un puntino luminoso nitido, appena visibile, al centro dello schermo.

c) Si regola la tensione del generatore su circa 1 V. Si misura la deflessione verticale e la si converta in volt (vedi Fig. 1 *c*).

d) Si pone S_k in posizione 2 e si ripete la misura del punto *c*.

e) Si varia la tensione del generatore prima lentamente e poi rapidamente. Si ha una variazione rapidissima quando viene staccato il terminale positivo del generatore e il punto 1 di S_k viene collegato al terminale di massa. Si studi lo spostamento del puntino luminoso.

Spiegazione:

Quando circola corrente in un condensatore, la carica elettrica fornita si accumula sulle due armature del condensatore, che sono isolate fra loro. Questa carica si manifesta come una differenza di potenziale fra le armature. In pratica, ciò significa che la corrente in un circuito capacitivo può circolare solo per un tempo limitato in una data direzione. La tensione sul condensatore raggiunge piuttosto rapidamente lo stesso livello di quella del generatore che lo carica. Viene raggiunta rapidamente una condizione di equilibrio nella quale la tensione media del condensatore è uguale alla tensione media del generatore che lo carica. Non vi è allora alcuna tensione sulla resistenza (punto *d*) poichè non vi è più alcuna corrente che la attraversa. Quando la tensione del generatore viene aumentata o ridotta (punto *e*) circola una corrente per un breve tempo, fino a che la tensione sul condensatore diventa uguale alla nuova tensione. Una corrente prolungata costante (corrente continua) è quindi impossibile in un circuito capacitivo, poichè ciò comporterebbe la presenza di una capacità infinita. Si può riepilogare ciò dicendo che il condensatore « blocca » la tensione continua.

ESPERIMENTO 32: CARICA DI UN CONDENSATORE CON UNA CORRENTE DI BREVE DURATA

Circuito:

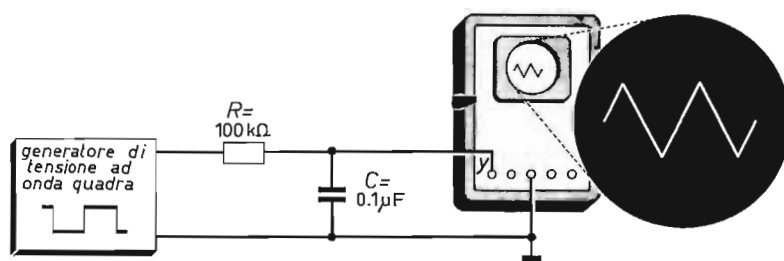



Fig. 32 *a* Fig. 32 *b*

Descrizione:

a) Si porta alla massima uscita un generatore di tensione ad onda quadra, con una frequenza di ripetizione di 1 kHz e un rapporto d'impulso 1 : 1.

b) Si pone il canale *Y* dell'oscilloscopio su « *AC* » (per bloccare la tensione continua eventualmente presente) e il canale *X* su « interno ». Si regola l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. *32 b.*

c) Si studi questo oscillogramma e si misuri la sua tensione picco-picco.

d) Si raddoppia la frequenza del generatore e si confronti l'oscillogramma ottenuto con quello del punto *b.* Si ripeta il punto *c.*

e) Si dimezza la tensione di uscita del generatore e si confronti l'oscillogramma prodotto con quello dei punti *b* e *c.* Si ripeta il punto *c.*

Spiegazione:

In regime costante il valore medio delle tensioni del generatore e sul condensatore sono uguali. La tensione del generatore però salta bruscamente al massimo. La tensione sul condensatore tenta di adeguarsi a tale valore e a tale scopo deve essere trasportata una certa quantità di elettricità e ciò richiede un certo tempo. Siccome il massimo livello di tensione dura solo 0,5 ms e la resistenza limita la corrente, l'aumento nella tensione sul condensatore (altezza dell'oscillogramma misurato nel punto *c*) è piccolo in confronto con il valore picco-picco della tensione a onda quadra. Pertanto attraverso *R* risulta applicata una tensione praticamente costante, sicchè circola una corrente costante di carica. Una eguale quantità di carica viene quindi trasferita alle armature del condensatore in ogni eguale (piccolo) intervallo di tempo, ossia la tensione sul condensatore aumenta proporzionalmente con il tempo. Dopo 0,5 ms la tensione a onda quadra salta bruscamente al suo valore minimo. La tensione sul condensatore è ora più alta della tensione del generatore, sicchè circola una corrente in direzione opposta e ciò riduce la tensione sul condensatore. Nei punti *d* ed *e* il tempo di carica e la corrente di carica sono rispettivamente dimezzati. L'altezza dell'oscillogramma è anch'essa dimezzata, dato che la variazione di carica e quindi la tensione è dimezzata.

ESPERIMENTO 33: CAPACITA' DI UN CONDENSATORE

Circuito:

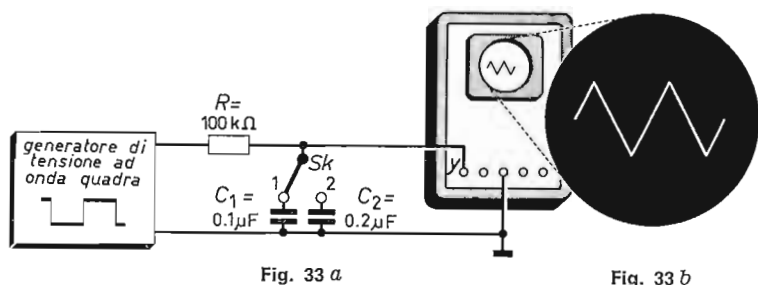



Fig. 33 *a* Fig. 33 *b*

Descrizione:

a) Si regola il generatore di onda quadra su una tensione picco-picco di 10 V mediante l'oscilloscopio) con una frequenza di ripetizione di 1 kHz e un rapporto di impulso di 1 : 1. Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1.

b) Si pone il canale *Y* su « *AC* » (per bloccare qualunque eventuale tensione continua) e il canale *X* su « interno ». Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 33 *b.*

c) Si misura il valore picco-picco di questo oscillogramma e lo si converte in tensione mediante la curva di taratura dell'esperimento 1.

d) Si misura il tempo di carica e scarica mediante la curva di taratura dell'esperimento 11.

e) Si commuta S_k nella posizione 2 e si ripetono le misure dei punti *c* e *d.*

Spiegazione:

Se una data carica viene immagazzinata in un « grosso » condensatore, la tensione di questo condensatore varia meno di quando la stessa carica viene immagazzinata in un condensatore più piccolo. Questa carica (quantità di elettricità) corrisponde al prodotto della corrente per il tempo. Le « dimensioni » del condensatore sono espresse nell'unità di capacità, il farad (F). Il farad è troppo grande come unità di uso pratico; le unità pratiche sono il microfarad (μF) e il picofarad (pF) (1 F = 1.000.000 μF; 1 μF = 1.000.000 pF). Un condensatore ha la capacità di 1 F quando la carica di un ampere per secondo fa variare la sua tensione di un volt. L'onda di tensione è di 10 V picco-picco. Le tensioni medie del generatore e sul condensatore sono le stesse; la tensione sulla resistenza di 100 kΩ è allora in ogni istante di 5 V e la corrente che la attraversa è di 0,05 mA. Il tempo di carica o di scarica è di 0,5 ms, sicchè il prodotto della corrente per il tempo è di 0,025 μAs. La variazione della tensione del condensatore dovuta a questa carica (punto *c*) risulta di 0,25 V con S_k sulla posiizone 1 e 0,125 V con S_k sulla posizione 2. La capacità è il rapporto fra la variazione di carica e la variazione della tensione, ossia 0,025 μAs diviso per 0,25 oppure 0,125 V, ossia rispettivamente 0,1 e 0,2 μF.

ESPERIMENTO 34: VARIAZIONE «NATURALE» DI CORRENTE IN UN CIRCUITO CAPACITIVO

Circuito:

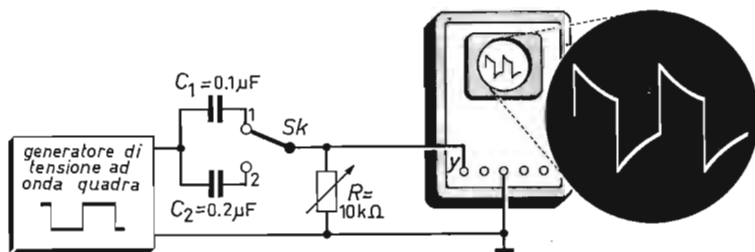



Fig. 34 *a* Fig. 34 *b*

Descrizione:

a) Si pone la tensione di uscita del generatore su circa 1 V, la frequenza di ripetizione su 1 kHz, e il rapporto di impulso su 1 : 1.

b) Si pone S_k sulla posizione 1 e si porta al massimo la resistenza variabile *R*.

c) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regola l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 34 *b*.

d) Si studi l'oscillogramma; se necessario si aumenti la velocità *X* fino a rendere evidenti le variazioni naturali della corrente.

e) Si commuta S_k sulla posizione 2; si confronti la traccia con quella del punto *c*.

f) Si riduce per gradi successivi la resistenza variabile e si confrontino i risultanti oscillogrammi con quelli dei punti *c* ed *e*.

Spiegazione:

Abbiamo visto nell'esperimento 32 come un condensatore viene alternativamente caricato e scaricato mediante una corrente costante. La tensione sul condensatore varia però leggermente, dato che la corrente era limitata da *R* (= = 100 kΩ). Su questa resistenza si genera allora una tensione ad onda quasi quadra, avente un valore medio nullo. Nel presente esperimento, la corrente di carica è maggiore poichè essa è limitata da una *R* molto più piccola (10 kΩ). La tensione sul condensatore quindi aumenta e diminuisce molto più rapidamente sicchè la corrente (che dipende dalla differenza fra le tensioni del generatore e sul condensatore) diminuisce rapidamente. Questa diminuzione segue un andamento naturale. Se, in un certo tempo, la corrente si dimezza, allora dopo un altro di questi intervalli essa diventa un quarto del suo valore originario, dopo un terzo di questi intervalli è un ottavo e così via. Se la tensione del generatore salta al valore minimo, immediatamente circola una corrente in direzione opposta e troviamo un impulso negativo della stessa forma. Nel punto *e* la corrente non diminuirà così rapidamente, dato che in un condensatore più grande deve essere immagazzinata una carica maggiore per fornire la stessa variazione di tensione. Nel punto *f* la corrente diminuisce più rapidamente, dato che la resistenza *R* è minore.

ESPERIMENTO 35: **VARIAZIONE « NATURALE » DI TENSIONE SU UN CONDENSATORE**

Circuito:

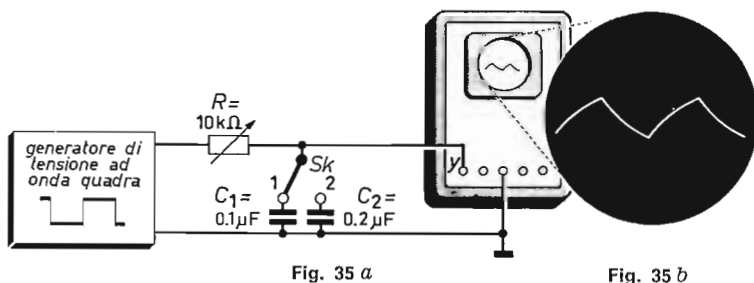



Fig. 35 *a* Fig. 35 *b*

Descrizione:

a) Si pone la tensione di uscita del generatore su circa 1 V, la frequenza di ripetizione su 1 kHz, il rapporto d'impulso su 1 : 1.

b) Si porta il commutatore S_k sulla posizione 1 e si rende massimo *R*.

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 35 *b*.

d) Si studi l'oscillogramma; se necessario si aumenti la velocità *X* in modo da rendere più evidente la variazione naturale della tensione del condensatore.

e) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si confronti la traccia con quella del punto *c*.

f) Si diminuisce per gradi la resistenza variabile e si confrontino gli oscillogrammi risultanti con quelli dei punti *c* ed *e*.

Spiegazione:

Le correnti periodiche di carica e scarica diminuiscono nel corso dei 0,5 ms secondo un andamento naturale (vedi esperimento 34). Sebbene piuttosto lentamente, la tensione sul condensatore tende ai valori massimo e minimo della tensione ad onda quadra (purchè i valori di *R*, *C* e del tempo di carica e scarica siano scelti opportunamente). Quando la tensione a onda quadra fa un salto (in tale istante la corrente è massima) l'aumento o la diminuzione della tensione sul condensatore è massimo, e diminuisce in ogni successivo piccolo intervallo di tempo poichè la corrente diminuisce. Mentre la corrente in un circuito capacitivo può variare bruscamente da un certo valore « positivo » a un certo valore « negativo » (esperimento 34), in questo esperimento vediamo che la variazione nella tensione sul condensatore è sempre graduale. Nel punto *e* viene caricato un condensatore più grande: esso richiede una carica maggiore per raggiungere la stessa tensione. L'oscillogramma pertanto comincia meno ripidamente e ha una parte orizzontale più corta. Aumentando *R* si ha lo stesso effetto (la corrente è infatti minore). Se *R* viene ridotto (punto *f*) l'impulso di corrente è maggiore; il condensatore viene allora caricato più rapidamente, sicchè l'oscillogramma si avvicina maggiormente ad un'onda quadra.

ESPERIMENTO 36: CONDENSATORE IN UN CIRCUITO A CORRENTE ALTERNATA

Circuito:

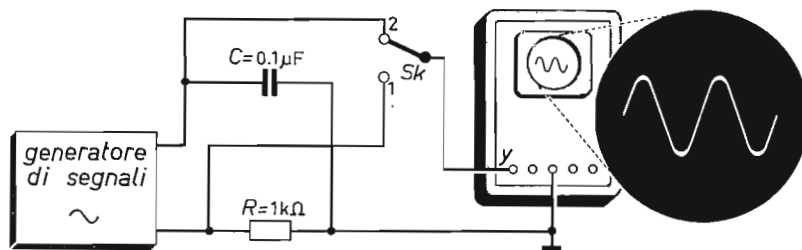



Fig. 36 *a* Fig. 36 *b*

Descrizione:

a) Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1. Si porta il generatore di segnale su 1 kHz e si regola la tensione di uscita fino a che l'ampiezza della tensione alternata sulla resistenza *R* sia di 1 V (a tal fine si può usare l'oscilloscopio e la curva di taratura dell'esperimento 1).

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 36 *b*.

c) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si ripete il punto *b*. Si misura l'ampiezzza dell'oscillogramma e si converta questo risultato in tensione (vedi curva di taratura di Fig. 1 *c*).

d) Si dimezza la frequenza del generatore. Si commuta S_k sulla posizione 1 e si porti ad 1 V la tensione su *R*. Si ripeta la misura del punto *c*.

Spiegazione:

La tensione sul condensatore (punto *c*) insieme alla corrente (punto *b*) variano sinusoidalmente. La corrente alternativamente carica e scarica il condensatore, sicchè la tensione su quest'ultimo aumenta e diminuisce alternativamente. La variazione di tensione è maggiore quando la corrente è maggiore. Un'onda sinusoidale è più ripida quando passa attraverso lo zero, sicchè la tensione sul condensatore è zero e aumenta quando la corrente è massima. Il punto minimo dell'oscillogramma di corrente (massima corrente di scarica) corrisponde a una tensione del condensatore nulla con tendenza a diminuire. Sicchè la tensione sul condensatore ha un ritardo di fase di un quarto di periodo rispetto alla corrente (vedi esperimento 37). L'ampiezza della corrente di carica (scarica) è 1 mA (punto *a*). La corrente media di carica è minore di questo valore poichè è $2 : \pi = 0{,}636$ mA (vedi esperimento 7). Il tempo di carica è di 0,5 ms. La carica immagazzinata (corrente $\times$ tempo) è perciò $1 : \pi = 0{,}32$ µAs. Siccome la capacità è 0,1 µF, la tensione sul condensatore aumenta di 3,2 V. L'ampiezza della tensione alternata sul condensatore è quindi 1,6 V. Il rapporto fra questa tensione e l'ampiezza della corrente è denominato impedenza o « resistenza apparente » del condensatore ed è inversamente proporzionale alla frequenza della tensione alternata ed alla capacità. Sicchè nel punto *d* l'ampiezza della tensione sul condensatore diventa doppia.

ESPERIMENTO 37: DIFFERENZA DI FASE FRA CORRENTE E TENSIONE IN UN CONDENSATORE

Circuito:

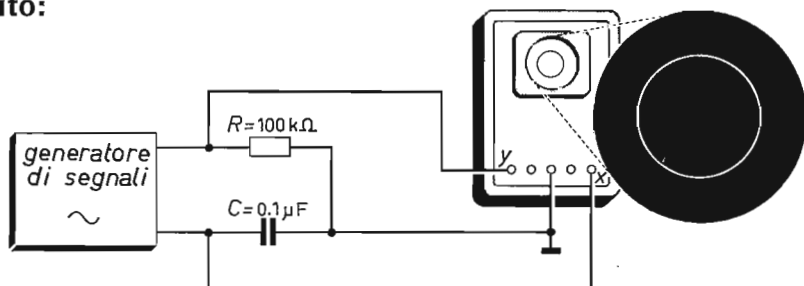



Fig. 37 *a* Fig. 37 *b*

Descrizione:

a) Si porta al massimo la tensione di uscita del generatore di segnale e si regola la frequenza su 1 kHz.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano l'amplificazione *X* e *Y* e la posizione *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia circolare al centro dello schermo.

c) Si aumenta o si diminuisce l'amplificazione *X* e *Y* e si osservino i risultati.

d) Si aumenta l'ampiezza del generatore di tensione (senza alterare le amplificazioni *X* e *Y*) e si constati che la forma della traccia rimane inalterata.

e) Si diminuisce la frequenza della tensione alternata (senza alterare le amplificazioni *X* e *Y*) e si osservi la variazione di forma dell'oscillogramma.

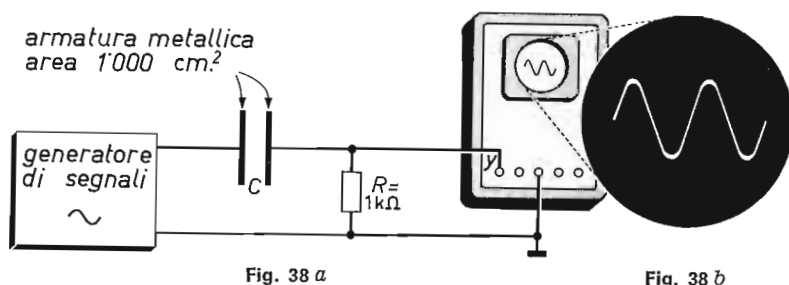
Spiegazione:

La corrente (caduta di tensione su *R*) e la tensione alternata sul condensatore sono sinusoidali. La tensione sul condensatore ha un ritardo di fase di un quarto di periodo rispetto alla corrente (vedi esperimento 36). La differenza di fase è pertanto di 90°. Se in un certo istante la corrente è massima, la tensone sul condensatore (tensione *X*) è zero e la tensione *Y* è al massimo negativo. Il puntino luminoso è allora in basso sulla verticale rispetto al centro dello schermo. Trascorsi 0,25 ms la corrente (tensione *Y*) risulta zero. La tensione *X* non aumenterà oltre, dato che è al suo massimo positivo. Il puntino luminoso è allora a destra del centro. Dopo altri 0,25 ms circola la massima corrente di scarica, sicchè la tensione *Y* è al massimo positivo e la tensione *X* è zero. Il puntino luminoso è allora in alto sulla verticale rispetto al centro, ad una distanza uguale a quella di cui precedentemente esso era in basso. Esso infine ritorna al suo punto di partenza avendo descritto una traccia completamente chiusa: un cerchio (punto *b*) oppure un'ellisse (punto *c*) i cui assi giacciono sugli assi *X* e *Y*. Se la corrente periodica di carica viene aumentata, le tensioni *X* e *Y* aumentano in proporzione (punto *d*): l'oscillogramma allora mantiene la sua forma originaria. Se il tempo di carica viene aumentato, a parità di ampiezza della corrente, aumenta solo la deflessione *X* (punto *e*).

ESPERIMENTO 38: FATTORI DA CUI DIPENDE LA CAPACITA' DI UN CONDENSATORE

Circuito:

Fig. 38 *a*

Fig. 38 *b*

Descrizione:

a) Si rende massima la tensione di uscita del generatore e si pone la frequenza su 10 kHz. Si montino le armature del condensatore *C* ad una distanza di 2 mm l'una dall'altra.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regola l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 38 *b*.

c) Si misura l'ampiezza dell'oscillogramma e si converta il risultato in tensione (si veda la Fig. 1 *c*).

d) Successivamente si porta la distanza fra le armature a 1 e a 4 mm e si ripeta il punto *c* per entrambi i casi.

e) Si sposta una sola delle armature in modo che essa si affacci meno rispetto all'altra (tenendo costante la distanza fra le armature) e si ripeta il punto *c*.

f) Si ripeta il punto *c* con vari tipi di materiali isolanti (ad es. carta, mica, ceramica, teflon) inseriti fra le armature.

Spiegazione:

La tensione sul condensatore è praticamente uguale alla tensione del generatore. La resistenza *R* provoca solo una piccola caduta di tensione proporzionale alla corrente. L'altezza dell'oscillogramma (la corrente di carica periodicamente variabile) è allora proporzionale alla capacità delle armature (che sono isolate fra loro). Queste armature formano come uno « spazio di immagazzinamento » per l'elettricità fornita. Le cariche accumulate sull'armatura si attraggono fra loro e sono più o meno equamente distribuite sulle facce interne delle due armature. La capacità è perciò tanto più grande quanto maggiore è l'area effettiva delle armature (vedi punto *e*). Inoltre la capacità è inversamente proporzionale alla distanza fra le armature (punto *d*). L'attrazione suddetta è più forte quando le armature sono più vicine fra loro: le cariche si « legano » meglio fra loro, sicchè vi è « spazio » per più cariche a parità di tensione. Vi è una certa « tensione » nello spazio fra le armature. Essa è nota come campo elettrico. Se viene introdotto un isolante in questo campo elettrico, si ha polarizzazione. Ciò fa aumentare le cariche sulle armature, a parità di tensione; quindi l'altezza dell'oscillogramma aumenta effettuando quanto descritto nel punto *f*.

ESPERIMENTO 39: PESATURA MEDIANTE UN RIVELATORE CAPACITIVO

Circuito:

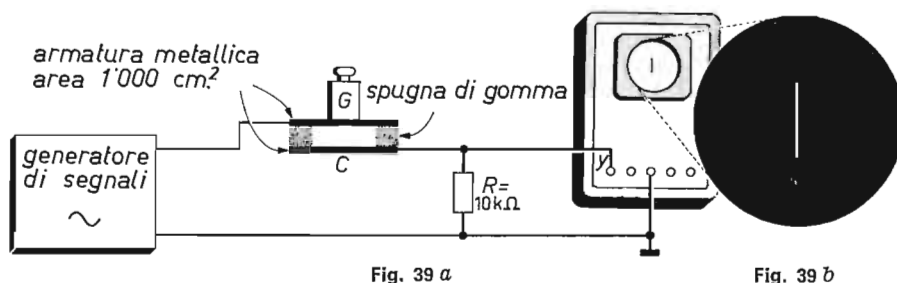



Fig. 39 *a* Fig. 39 *b*

Descrizione:

a) Si porta al massimo la tensione del generatore e si regola la frequenza su 10 kHz. Si toglie il peso *g* e si fa in modo che la distanza fra le armature del condensatore sia di 1 cm.

b) Si pone il canale *X* su « esterno » e si regolano l'amplificazione *Y* e le posizioni *X* e *Y* fino ad ottenere al centro dello schermo una corta linea verticale, avente lunghezza appena misurabile.

c) Si misura l'altezza dell'oscillogramma e si prenda nota di questo valore.

d) Si pongono ora alcuni pesi campione, uno alla volta, sul rivelatore capacitivo *C* e si ripete ogni volta il punto *c*. Si portino in un grafico i risultati.

e) Si pongono alcuni oggetti di peso incognito sul rivelatore capacitivo e si determini il loro peso servendosi della curva di taratura determinata nel punto *d*.

Spiegazione:

L'ampiezza della caduta di tensione sulla resistenza *R* è proporzionale all'ampiezza della corrente alternata che la attraversa. A parità di frequenza e di ampiezza della tensione del generatore, essa dipende dalla capacità delle due armature. Abbiamo visto nel precedente esperimento che la capacità di due armature piane e parallele poste ad una breve distanza fra loro (ciò costituisce un condensatore piano) è inversamente proporzionale alla distanza fra le armature. Queste sono mantenute parallele da pezzi di spugna di gomma di uguale spessore, più esattamente da pezzi situati fra le armature, ad ogni angolo. La « bilancia » viene tarata nei punti *c* e *d*: se essa viene caricata in modo che la distanza fra le armature diminuisca sensibilmente, la capacità aumenterà. Aumenta quindi l'ampiezza della corrente, sicchè la linea verticale sullo schermo diviene più lunga. La lunghezza di questa linea costituisce una misura del peso posto sul rivelatore. È preferibile porre il peso al centro dell'armatura, in modo che le due armature rimangano parallele. Qualora si dovessero pesare oggetti leggeri, occorre usare un'armatura superiore sottile e piccoli pezzi di spugna di gomma per mantenere parallele le armature.

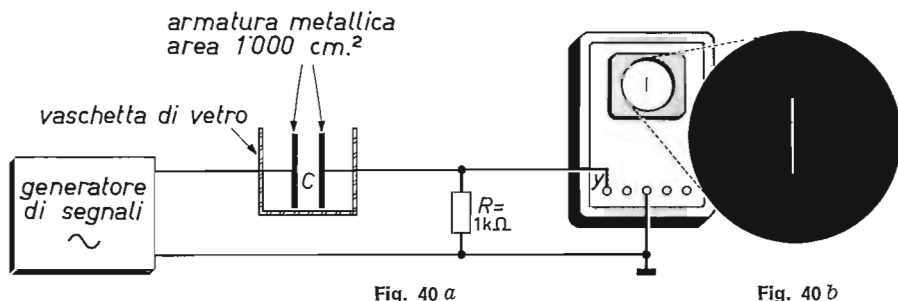
ESPERIMENTO 40: DETERMINAZIONE DEL LIVELLO DI UN LIQUIDO MEDIANTE UN RIVELATORE CAPACITIVO

Circuito:

Fig. 40 *a* Fig. 40 *b*

Descrizione:

a) Si rende massima la tensione del generatore e si pone la frequenza su 10 kHz. Si montano le armature del rivelatore capacitivo *C* affacciandole fra loro a una distanza di 1 cm.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la posizione *X* e *Y* fino ad ottenere una corta linea verticale, di lunghezza appena misurabile, al centro dello schermo.

c) Si misura la lunghezza della linea prendendone nota.

d) Si riempie la vaschetta successivamente con uno - due - tre ecc. cm di liquido isolante (ad es. acetone) e si ripete il punto *c*. Si portano in un grafico i risultati.

e) Si toglie una quantità qualsiasi di liquido dalla vaschetta e si determina il livello del liquido mediante la curva di taratura determinata nel punto *d*.

Spiegazione:

La capacità del condensatore dipende non solo dall'area delle armature e dalla loro distanza, ma anche dalla natura del mezzo interposto fra esse (il « dielettrico »): vedi esperimento 38. Se quando lo spazio fra le armature è riempito con una certa sostanza la capacità aumenta ad esempio di cinque volte, diremo che la costante dielettrica relativa della sostanza è 5. Ora l'acetone ha una costante dielettrica relativa $\varepsilon_r \approx 20$. Quando la vaschetta di vetro è riempita completamente con acetone, la capacità fra le armature aumenterà quindi di circa 20 volte. La corrente aumenterà corrispondentemente, sicchè l'altezza dell'oscillogramma costituisce una misura del livello del liquido. La corrente nel circuito consiste solo delle correnti di carica e scarica del condensatore, dato che essendo il liquido un isolante, non conduce alcuna corrente. Ciò può essere controllato variando la frequenza del condensatore. Se il liquido fosse conduttore, esso costituirebbe un « partitore di tensione » insieme con la resistenza *R* e l'altezza dell'oscillogramma dipenderebbe molto non solo dalla frequenza ma anche dall'ampiezza del segnale erogato del generatore di tensione.

ESPERIMENTO 41: **BOBINA IN UN CIRCUITO A CORRENTE CONTINUA**

Circuito:

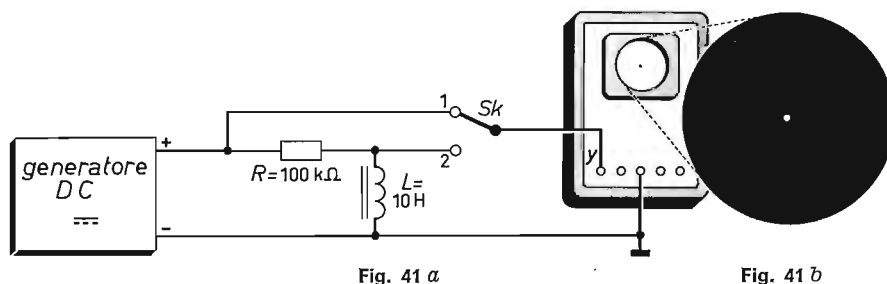



Fig. 41 *a* Fig. 41 *b*

Descrizione:

a) Si porta a zero la tensione del generatore e si pone il commutatore S_k sulla posizione 1.

b) Si pone il canale *X* su « esterno » e il canale *Y* su « *DC* ». Regolando le posizioni *X* e *Y* e i controlli di fuoco e di intensità si ottenga un puntino luminoso nitido appena visibile al centro dello schermo.

c) Si regola la tensione del generatore su circa 1 V. Si misura la deflessione verticale e la si converte in tensione (vedi Fig. 1 *c*).

d) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si ripete la misura del punto *c*.

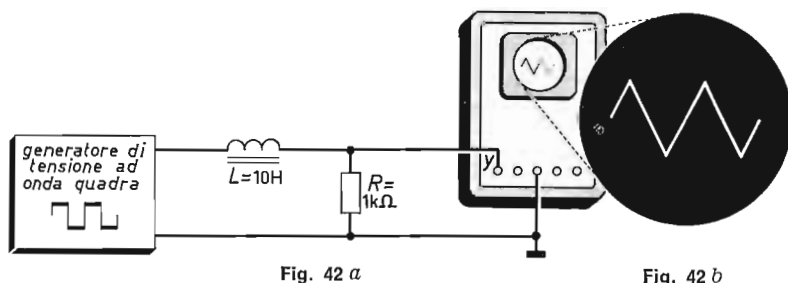
e) Si varia la tensione del generatore dapprima lentamente e poi rapidamente da zero a circa 1 V per poi tornare indietro (si produce una brusca variazione se si disconnette il terminale positivo del generatore). Si studi il movimento del puntino luminoso.

Spiegazione:

La bobina è avvolta con filo di rame ed ha una resistenza molto piccola rispetto a 100 kΩ. Di conseguenza non si ha alcuna caduta di tensione ai capi della bobina quando si effettua l'operazione *d*. Attraverso il circuito (e anche attraverso la bobina) circola una corrente continua il cui valore è dato dalla tensione del generatore (punto *c*) divisa per la resistenza di 100 kΩ. Questa corrente genera un campo magnetico, la cui intensità è proporzionale alla corrente. Se la corrente varia (punto *e*) varia l'intensità del campo magnetico. Verrà allora indotta nella bobina una tensione, dovuta al proprio campo magnetico. Se la corrente cambia rapidamente (ad es. interrompendo il circuito), la tensione indotta (la tensione sulla bobina) è piuttosto alta per un breve istante. Il puntino luminoso allora andrà in basso per un istante. Siccome si ha tensione indotta solo quando l'intensità del campo varia, la tensione sulla bobina a regime è zero; in pratica la corrente raggiunge il suo valore finale piuttosto rapidamente. Il puntino luminoso quindi si muoverà apprezzabilmente solo quando la corrente varia con sufficiente rapidità.

ESPERIMENTO 42: ECCITAZIONE DI UNA BOBINA CON UNA TENSIONE DI BREVE DURATA

Circuito:

Fig. 42 *a*   Fig. 42 *b*

Descrizione:

a) Si porta al massimo la tensione di uscita del generatore ad onda quadra e si regola la frequenza di ripetizione su 1 kHz e il rapporto di impulso su 1 : 1.

b) Si pone il canale *Y* dell'oscilloscopio su « *AC* » (per bloccare qualunque eventuale tensione continua) e il canale *X* su « interno ». Si regolano l'amplicazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 42 *b*.

c) Si studi l'oscillogramma e se ne misuri il valore picco-picco.

d) Si raddoppia la frequenza del generatore di tensione e si confronti l'oscillogramma risultante con quello del punto *b*. Si ripete il punto *c*.

e) Si dimezza la tensione di uscita del generatore e si confronti l'oscillogramma risultante con quello dei punti *b* e *d*. Si ripeta il punto *c*.

Spiegazione:

Quasi subito dopo aver applicato alla bobina la corrente, questa raggiunge il suo valore medio, che dipende dalla resistenza del circuito e dalla tensione media del generatore. La tensione a onda quadra poi salta bruscamente al suo massimo livello. La corrente attraverso la bobina (intensità del campo magnetico) allora aumenta e si autoregola sul nuovo livello. A questo punto si ha una tensione indotta nella bobina, che si oppone alla variazione che l'ha provocata. Ciò dimostra che la corrente non può cambiare bruscamente. L'instaurarsi di un campo magnetico è un processo relativamente graduale. Vediamo la corrente aumentare gradualmente (punto *c*) quando la tensione a onda quadra è al suo massimo livello. Quando la tensione a onda quadra salta al suo minimo livello, la corrente diminuisce gradualmente. Siccome la resistenza del circuito è relativamente bassa, la tensione indotta (tensione ai capi della bobina) è praticamente uguale alla tensione ad onda quadra. Nel punto *d*, la variazione di corrente (altezza dell'oscillogramma) è dimezzata, dato che il tempo durante il quale la tensione rimane al massimo o al minimo livello è dimezzato. Nel punto *e* la tensione indotta (tensione sulla bobina) è metà del valore originario; la variazione di corrente è anch'essa dimezzata.

ESPERIMENTO 43: **INDUTTANZA DI UNA BOBINA**

Circuito:

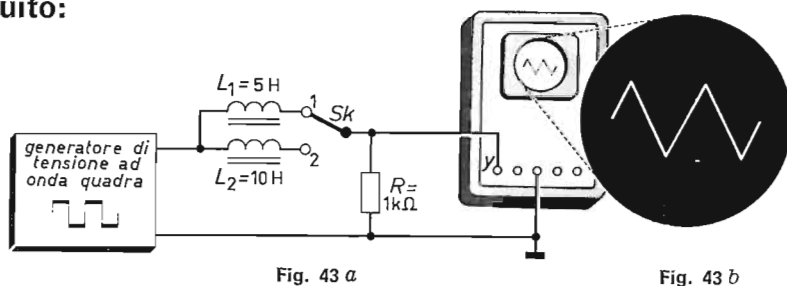



Fig. 43 *a* Fig. 43 *b*

Descrizione:

a) Si regola il generatore di onda quadra su circa 10 V picco-picco (servendosi dell'oscilloscopio) con frequenza di ripetizione di 1 kHz e rapporto di impulso di 1 : 1. Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1.

b) Si pone il canale *Y* dell'oscilloscopio su « *AC* » (per bloccare qualunque eventuale tensione continua) e il canale *X* su « interno ». Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia analoga a quella di Fig. 43 *b.*

c) Si misura il valore picco-picco di questo oscillogramma e si converta questo risultato in tensione mediante la curva di taratura di Fig. 1*c*.

d) Si misura il tempo durante il quale la corrente aumenta o diminuisce (vedi Fig. 11 *c*).

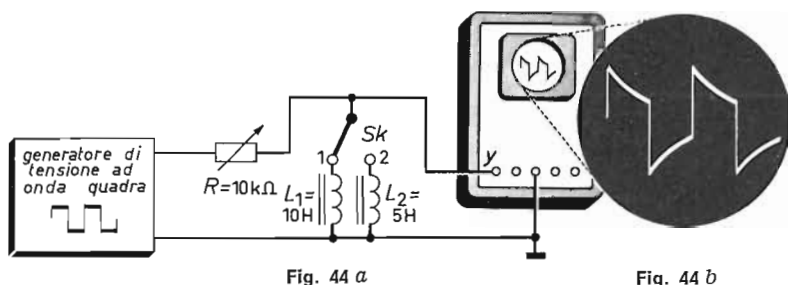
e) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si ripetono le misure dei punti *c* e *d*.

Spiegazione:

La resistenza del circuito è bassa. La tensione ad onda quadra del generatore è quindi praticamente uguale alla tensione indotta. Quest'ultima è causata dalla variazione di corrente (e quindi di intensità di campo); una forte variazione di corrente dà luogo ad un'alta tensione. La tensione indotta è più alta quando il tempo impiegato per una data variazione di corrente è più breve. Il valore della variazione di corrente corrispondente a una data tensione indotta dipende dalle dimensioni della bobina, dal numero di spire e dalla natura del materiale che costituisce il « nucleo ». Da questi fattori dipende il coefficiente di autoinduzione della bobina, generalmente denominato induttanza. L'induttanza è espressa in henry (H). L'induttanza di una bobina è di 1 H quando la variazione di corrente di un ampere per secondo produce la tensione di un volt. Le tensioni trovate nei punti *c* ed *e* sono rispettivamente di 0,5 e 0,25 V. La variazione di corrente che avviene in 0,5 ms (punto *d*) con $R = 1\,k\Omega$ è quindi di 0,5 e 0,25 mA rispettivamente, che corrisponde a 1 e 0,5 ampere per secondo. La tensione indotta è di 5 V in entrambi i casi (punto *a*). L'induttanza (tensione indotta divisa per la variazione della corrente al secondo) è pertanto di 5 H per una bobina (punto *c*) e di 10 H per l'altra (punto *e*).

ESPERIMENTO 44: **VARIAZIONE « NATURALE » DI TENSIONE SU UNA BOBINA**

Circuito:

Fig. 44 *a* Fig. 44 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione ad onda quadra su circa 1 V picco-picco, la frequenza di ripetizione su 1 kHz e il rapporto di impulso su 1 : 1.

b) Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1 e si porta al massimo *R*.

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 44 *b.*

d) Si studi l'oscillogramma. Se necessario, si aumenti la velocità *X* in modo da rendere più chiaramente visibile la variazione « naturale » della tensione sulla bobina.

e) Si pone S_k sulla posizione 2; si confronti l'oscillogramma con quello del punto *c.*

f) Si riduce progressivamente la resistenza variabile e si confrontino gli oscillogrammi risultanti con quelli dei punti *c* ed *e.*

Spiegazione:

Quando la resistenza *R* è minima l'oscillogramma rappresenta quasi esattamente la tensione del generatore. La tensione sulla resistenza è piccola ed è praticamente « triangolare » (vedi esperimento 42). Quando la resistenza del circuito è grande, la maggior parte della tensione del generatore cadrà su di essa. Questa caduta di tensione è proporzionale alla corrente. La corrente aumenta regolarmente per 0,5 ms per poi diminuire regolarmente per lo stesso tempo. Anche la tensione su *R* deve seguire questo andamento. La tensione sulla bobina diminuisce man mano che quella sulla resistenza aumenta, e viceversa, dato che la somma di queste due tensioni è uguale alla tensione del generatore che in ogni intervallo di 0,5 ms è di valore costante. Quando la tensione del generatore fa un brusco salto, deve « saltare » anche la tensione sulla bobina. Però la corrente (tensione su *R*) non può cambiare bruscamente. L'oscillogramma (punto *d*) pertanto consiste di un certo numero di salti, ciascuno dei quali seguito da una variazione « naturale » regolare della tensione (vedi spiegazione nell'esperimento 34). Quando, l'induttanza viene dimezzata (punto *e*) la corrente (la tensione su *R*) può aumentare più rapidamente. La tensione sulla bobina allora si avvicina maggiormente al suo valore medio. Vedremo così una serie di salti e una variazione « naturale » più corta.

ESPERIMENTO 45: **VARIAZIONE « NATURALE » DI CORRENTE ATTRAVERSO UNA BOBINA**

Circuito:

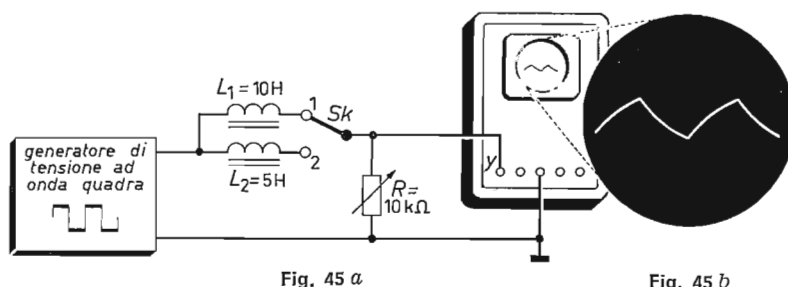



Fig. 45 *a* Fig. 45 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione del generatore su circa 1 V picco-picco, la frequenza di ripetizione su 1 kHz e il rapporto di impulso su 1 : 1.

b) Si pone S_k sulla posizione 1 e si rende massimo *R*.

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 43 *b*.

d) Si studi l'oscillogramma. Se necessario, si aumenta la velocità *X* in modo da rendere meglio evidente la variazione « naturale » della corrente nella bobina.

e) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si confronti l'oscillogramma con quello del punto *c*.

f) Si riduce progressivamente la resistenza variabile e si confrontano gli oscillogrammi ottenuti con quelli dei punti *c* ed *e*.

Spiegazione:

Sappiamo dagli esperimenti 42 e 43 che la corrente nel circuito varia triangolarmente quando la tensione sulla bobina è un'onda quadra, ossia quando la resistenza del circuito è bassa. Se aumentiamo questa resistenza (punto *b*) la tensione a onda quadra salta al suo massimo valore e la corrente tende ad aumentare gradualmente al suo nuovo livello. Tuttavia, questo nuovo livello di corrente non è molto più alto del precedente quando la resistenza del circuito è alta, ed è raggiunto più rapidamente di quando la resistenza del circuito è bassa. Vediamo allora che l'oscillogramma si appiattisce piuttosto rapidamente dopo ogni salto dell'onda quadra (punto *d*). Immediatamente dopo il salto di tensione, la rapidità della variazione della corrente è massima (vedi esperimento 44). Nel punto *e* la corrente raggiunge prima il suo valore finale, dato che l'induttanza (che tende ad impedirlo) è minore. L'oscillogramma allora somiglia maggiormente a un'onda quadra; però, i salti della tensione a onda quadra avvengono sulla bobina in questo caso. L'oscillogramma di Fig. 45 *b* è complementare a quello di Fig. 44 *b* e sommandoli si ottiene la tensione ad onda quadra del generatore.

ESPERIMENTO 46: BOBINA IN UN CIRCUITO A CORRENTE ALTERNATA

Circuito:

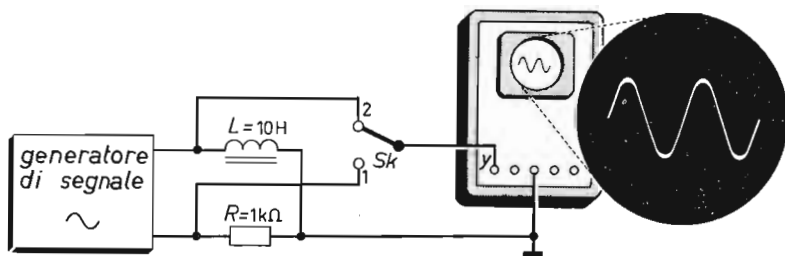



Fig. 46 *a* Fig. 46 *b*

Descrizione:

a) Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1. Si regola il generatore di segnale su 100 Hz e si varia la tensione di uscita fino a che l'ampiezza della tensione sulla resistenza *R* sia di 1 V (si faccia ciò servendosi dell'oscilloscopio e della curva di taratura dell'esperimento 1).

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino a ottenere una traccia simile a quella di Fig. 46 *b*.

c) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si ripete il punto *b*. Si misuri l'ampiezza dell'oscillogramma e si converta questo risultato in tensione (vedasi curva di taratura di Fig. 1 *c*).

d) Si raddoppia la frequenza del generatore, si commuta S_k sulla posizione 1 e si renda la tensione su *R* ancora di 1 V. Si ripeta la misura del punto *c*.

Spiegazione:

La corrente che attraversa la bobina varia sinusoidalmente. Conformemente all'esperimento 43, la tensione indotta (anch'essa sinusoidale; punto *c*) è proporzionale alla variazione di corrente per unità di tempo. Questa tensione è allora al massimo positivo (negativo) quando la corrente tende ad aumentare (diminuire) con la massima rapidità, ossia quando la corrente è zero. La tensione indotta è zero quando la rapidità della variazione di corrente è zero, ossia quando la corrente è massima o minima. La corrente sinusoidale ha perciò un ritardo di fase di un quarto di periodo rispetto alla tensione esistente sulla bobina (vedi esperimento 47). In 5 ms la corrente varia dal massimo negativo (— 1 mA) al massimo positivo (+ 1 mA). La variazione media di corrente per unità di tempo in questo intervallo è quindi di 2/5 A/s. La tensione media sulla bobina da 10 H durante questo intervallo è quindi $10 \times 2/5 = 4$ V. La tensione è $\pi : 2 = 1{,}57$ volte questo valore (vedi esperimento 7) ossia 6,28 V (punto *c*). Il rapporto delle ampiezze della tensione indotta e della corrente è denominato impedenza o resistenza apparente della bobina. Esso è quindi 6,28 kΩ. Quando la frequenza viene raddoppiata (a parità di ampiezza della corrente) la variazione di corrente per unità di tempo e quindi la tensione sulla bobina viene anch'essa raddoppiata (punto *d*).

ESPERIMENTO 47: DIFFERENZA DI FASE FRA CORRENTE E TENSIONE IN UNA BOBINA

Circuito:

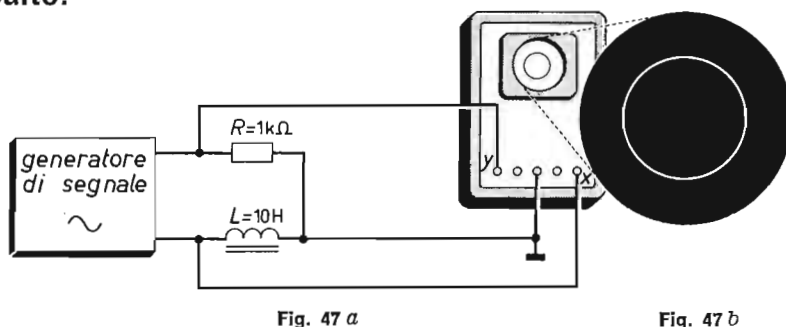



Fig. 47 *a* Fig. 47 *b*

Descrizione:

a) Si porta la tensione di uscita del generatore di segnali al suo massimo valore e la frequenza su 100 Hz.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* e le posizioni *X* e *Y* fino a ottenere una traccia circolare visibile al centro dello schermo (vedi Fig. 47 *b*).

c) Si aumentano e si diminuiscono le amplificazioni *X* e *Y* e si osservino i risultati.

d) Si aumenta l'ampiezza della tensione del generatore (senza alterare le amplificazioni *X* e *Y*) e si veda se la forma dell'oscillogramma rimane invariata.

e) Si aumenta la frequenza del generatore (senza alterare le amplificazioni *X* e *Y*) e si spieghi la variazione della forma dell'oscillogramma che si ottiene.

Spiegazione:

La corrente che attraversa la bobina è in ritardo di fase di 90° rispetto alla tensione sulla bobina (vedi esperimento 46). Quando la corrente è zero, la tensione indotta è massima; quando la corrente è massima la tensione indotta è zero. La tensione sulla bobina è applicata al canale *X* mentre una tensione proporzionale alla corrente è applicata al canale *Y*. Quando la deflessione orizzontale è massima, la deflessione verticale è zero e viceversa. L'oscillogramma deve perciò essere chiuso, con andamento uniforme, con i suoi estremi negli assi *X* e *Y*. Questo oscillogramma, una circonferenza (punto *b*) o un'ellisse (punto *c*) viene tracciato dal puntino luminoso in senso orario in 10 ms. Quando la tensione del generatore viene aumentata (punto *d*), tanto la corrente quanto la tensione indotta aumentano in proporzione. Il rapporto di queste due quantità rimane perciò costante, sicchè l'oscillogramma conserva la sua forma e diviene uniformemente più grande. Quando la frequenza viene aumentata (punto *e*) la tensione indotta aumenta a parità di ampiezza della corrente. La deflessione orizzontale perciò aumenta, mentre quella verticale rimane inalterata.

ESPERIMENTO 48: FATTORI DA CUI DIPENDE L'INDUTTANZA DI UNA BOBINA

Circuito:

	spire	diametro	lunghezza
L_1	600	16 mm	120 mm
L_2	600	32 mm	120 mm
L_3	600	16 mm	60 mm
L_4	600	16 mm	60 mm

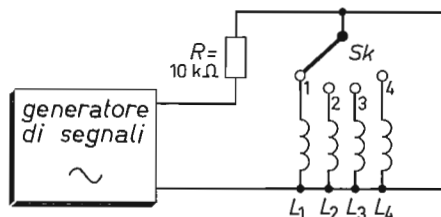
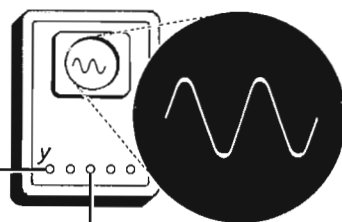



Fig. 48 *a* Fig. 48 *b*

Descrizione:

a) Si porta al massimo la tensione del generatore, si pone la frequenza su 10 kHz e il commutatore S_k sulla posizione 1. Le bobine da L_1 a L_4 sono avvolte su un tubo di plastica.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia sinusoidale (vedi Fig. 48 *b*).

c) Si misura l'altezza di questo oscillogramma e la si converte in tensione.

d) Si pone S_k successivamente sulle posizioni 2 e 3 e si ripete ogni volta il punto *c.*

e) Si commuta S_k successivamente sulle posizioni 1, 2 e 3 con un materiale di buona conduttività magnetica (ad es. Ferroxcube) posto nella bobina che viene inserita. Si ripeta ogni volta il punto *c* e si confrontino i risultati ottenuti.

f) Si commuta S_k sulla posizione 4 e si ripeta la misura del punto *c.*

Spiegazione:

In questo esperimento, la lunghezza delle bobine è maggiore rispetto al loro diametro. Il campo magnetico nella bobina è allora relativamente forte e consiste di un insieme di linee di forza sostanzialmente parallele. Esternamente alla bobina le linee di forza si espandono per occupare il maggiore spazio disponibile, e conseguentemente il campo magnetico è più debole. Si trova (punto *d*), che l'induttanza (altezza dell'oscillogramma) è inversamente proporzionale alla « resistenza » incontrata dalle linee di forza nel loro passaggio. La bobina L_2 ha un diametro doppio, e quindi una sezione quattro volte più grande di L_1, e la bobina L_3 ha lunghezza metà. L'induttanza è allora rispettivamente quadrupla e doppia rispetto ad L_1. Se si pone nella bobina un bastoncino di materiale avente una buona conduttività magnetica, avviene che le dimensioni della bobina non hanno più tanta influenza; l'induttanza dipende sostanzialmente dalle dimensioni e dalla permeabilità del materiale introdotto. Le induttanze di L_1, L_2 e L_3 sono allora molto maggiori rispetto ai valori originari e quasi uguali fra loro. Il numero di spire di L_4 è metà di quello di L_3, con le stesse dimensioni. L'induttanza è allora un quarto del valore originario, dato che essa è proporzionale al quadrato del numero di spire (punto *f*).

ESPERIMENTO 49: **PROPRIETA' DELLE BOBINE ACCOPPIATE**

Circuito:

	spire	diametro	lunghezza
L_1	600	16 mm	120 mm
L_2	600	32 mm	120 mm

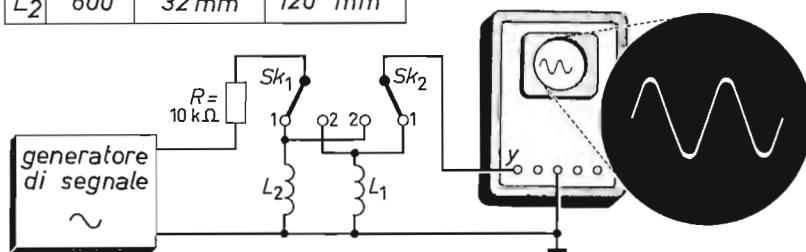



Fig. 49 *a* — Fig. 49 *b*

Descrizione:

a) Si porta al massimo la tensione di uscita del generatore e si regola la frequenza su 10 kHz. Si inserisce completamente L_1 in L_2 e si pone S_{k1} sulla posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 49 *b*.

c) Si commuta S_{k2} successivamente sulle posizioni 1 e 2 e si misura l'altezza dell'oscillogramma. Si convertono questi risultati in tensioni (vedi Fig. 1 *c*).

d) Si pone un bastoncino di Ferroxcube nella bobina L_1 e si ripeta il punto *c*.

e) Si porta il bastoncino internamente a L_2 e si ripeta il punto *c*.

f) Si commuta S_{k1} sulla posizione 2 e si ripetono *d* ed *e*. Si confrontino i risultati ottenuti.

g) Si toglie L_1 da L_2 e si ripeta il punto *c*.

Spiegazione:

L_2 è uguale ad L_1, eccetto che ha una sezione quattro volte maggiore. L_1 è posta internamente ad L_2 e quindi contiene un quarto delle sue linee di forza. La tensione (auto) indotta in L_2 è quattro volte la tensione indotta (mutualmente) in L_1 (punto *c*). Il coefficiente di accoppiamento è quindi 1/4. Se viene posto internamente ad L_1 un bastoncino di materiale con buona conduttività magnetica (rimanendo L_1 ancora interna a L_2) allora entrambe le bobine contengono lo stesso campo, dato che le linee di forza passano attraverso il bastoncino. A parità di corrente alternata, le tensioni su L_1 e L_2 sono molto più alte e praticamente uguali. Il fattore di accoppiamento è in questo caso praticamente 1 (punto *d*). Se il bastoncino viene posto in L_2 vicino a L_1, il coefficiente di accoppiamento diviene molto piccolo, dato che le linee di forza ora passano attraverso il bastoncino esternamente ad L_1 (punto *e*). Se viene applicata la corrente alternata alla bobina interna (L_1) le due bobine contengono sostanzialmente lo stesso campo. Il coefficiente di accoppiamento è allora quasi 1 (indipendentemente dal fatto che il bastoncino sia in L_1 oppure no). Se il bastoncino è posto fra L_1 e L_2 l'accoppiamento diminuisce, poichè molte delle linee di forza provenienti da L_1 che originariamente andavano esternamente fino ad L_2 ora passano attraverso il bastoncino opponendosi al campo originario contenuto da L_2 (punto *f*). Quando le bobine vengono distanziate fra loro, l'accoppiamento naturalmente diminuisce (punto *g*).

ESPERIMENTO 50: DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DILATAZIONE LINEARE DEI METALLI

Circuito:

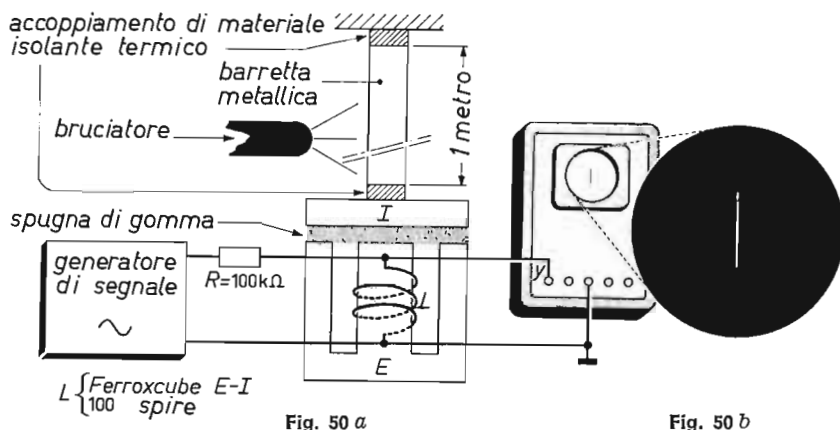



Fig. 50 *a* Fig. 50 *b*

Descrizione:

a) Si rende massima la tensione del generatore e si porta la frequenza su 10 kHz. Si pone un foglio di carta fra i lamierini *E* ed *I* in modo che la distanza fra essi sia di 0,1 mm.

b) Si commuta il canale *X* su « esterno » e si regolano l'amplicazione *Y* e le posizioni *X* e *Y* fino a ottenere una corta linea verticale, la cui lunghezza sia appena misurabile, al centro dello schermo.

c) Si misuri l'altezza dell'oscillogramma e si prenda nota del risultato.

d) Si porta la distanza fra i lamierini *E* - *I* di Ferroxcube successivamente a 0,2, 0,3 . . . mm e si ripeta ogni volta il punto *c*. Si riportino in un grafico i risultati.

e) Si monta la barretta in esame come illustrato in Fig. 50 *a*. Si riempie lo spazio fra le sezioni *E* ed *I* con spugna di gomma. Si determini la variazione di lunghezza (con l'aiuto del grafico ottenuto nel punto *d*).

Spiegazione:

Il materiale con buona conduttività magnetica è presente tanto internamente quanto esternamente alla bobina *L*. Le linee di forza del campo magnetico dovute alla corrente alternata passano allora attraverso le sezioni di Ferroxcube. La « resistenza magnetica » (riluttanza) dipende sostanzialmente dalla lunghezza del percorso delle linee di forza nell'aria (« traferro »). Siccome l'autoinduttanza è inversamente proporzionale alla resistenza magnetica, l'oscillogramma diventa più alto man mano che viene ridotto il traferro. Una variazione ad esempio di 0,5 mm nel traferro può facilmente dar luogo ad una deflessione *Y* di vari centimetri. Ciò è verificato nel punto *d*, relativo alla taratura dell'apparecchiatura, dove si traccia un grafico fra l'altezza dell'oscillogramma e la larghezza del traferro. Se ora la barra di metallo in esame viene accoppiata, ad esempio, alla sezione I del Ferroxcube, si può determinare in base alla curva di taratura del punto *d* la variazione di lunghezza derivante dalla variazione di temperatura. In base a tale risultato si può calcolare il coefficiente di dilatazione lineare (ossia la variazione percentuale di lunghezza per grado centigrado).

ESPERIMENTO 51: **LA TENSIONE DI RETE**

Circuito:

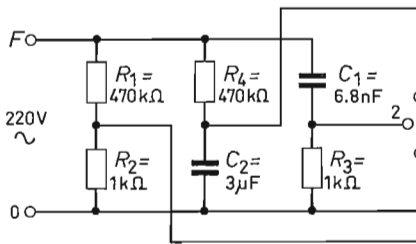
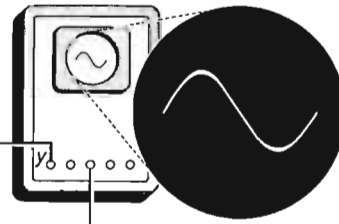



Fig. 51 *a* Fig. 51 *b*

Descrizione:

a) Si rintraccia il terminale di terra della rete mediante un rivelatore di tensione. Si collega il terminale di terra al punto *O* e il « terminale di fase » al punto *F* del circuito. Ciò deve essere fatto con attenzione! Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia chiaramente visibile (vedi Fig. 51 *b*).

c) Si studia questo oscillogramma e si osservi se è sinusoidale.

d) Si misura il periodo mediante la Fig. 11 *c*.

e) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si confronti il nuovo oscillogramma con quello del punto *c*.

f) Si commuta S_k sulla posizione 3 e si confronti questo oscillogramma con quello precedente. Si spieghi perchè esso è praticamente sinusoidale.

Spiegazione:

Le Società Elettriche debbono fornire ai loro utenti una tensione più che possibile sinusoidale a 50 Hz. In generale la forma d'onda è sufficientemente vicina ad una sinusoide. La precisione della frequenza può essere ritenuta molto buona (punto *d*). R_1 ed R_2 formano un semplice partitore di tensione. L'oscillogramma (con S_k sulla posizione 1) mostra la forma d'onda della tensione di rete. Osservando con cura questo oscillogramma si possono individuare piccole irregolarità. Queste possono essere viste più chiaramente con S_k sulla posizione 2. Siccome la tensione su C_1 non può « saltare », le irregolarità (piccoli picchi di tensione e rapide variazioni) si localizzano principalmente su R_3. Le irregolarità sono quindi molto meno attenuate rispetto alla parte sinusoidale della tensione. Se vogliamo una tensione di rete « pulita », si deve usare un filtro che elimini il più possibile le irregolarità. Nel punto *f* è illustrato il funzionamento di un circuito che fornisce una tale tensione pulita (l'esempio qui mostrato non può essere considerato come un valido filtro di rete a causa del suo basso rendimento). La tensione su C_2 può variare solo gradualmente e quindi le irregolarità della tensione di rete si localizzano su R_4.

ESPERIMENTO 52: **CONTROLLO DELL'ACCENSIONE DI UN MOTORE A SCOPPIO**

Circuito:

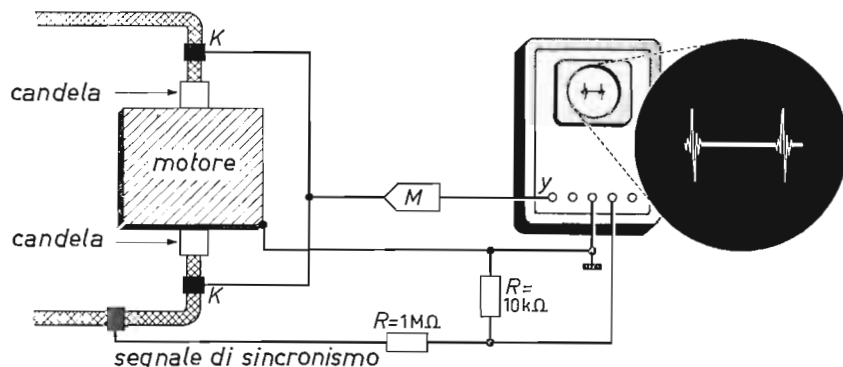



Fig. 52 *a* Fig. 52 *b*

Descrizione:

a) Si fissa una fascetta metallica *K* su ogni cavo di candela e si colleghino queste fascette tramite la sonda *P* al canale *Y* (vedi Fig. 52 *a*). Tutte le fascette debbono avere le stesse dimensioni e debbono essere fissate allo stesso modo.

b) Si pone in moto il motore. Si commuta il canale *X* su « interno » con sincronismo « esterno » sulla tensione delle candele. Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino a che il numero dei picchi sullo schermo sia uguale al numero delle candele (Fig. 52 *b*).

c) Si toglie per un momento una fascetta e si noti quale è il picco che scompare. A questo modo si trova la corrispondenza fra ogni picco e la rispettiva candela.

d) Si misura la distanza fra i picchi e si osservi se essi hanno tutti la stessa altezza.

e) Si aumenta la velocità del motore e si confronti l'oscillogramma con quello del punto *d.*

Spiegazione:

Il conduttore interno del cavo delle candele costituisce un condensatore con la fascetta *K*. La capacità di questo condensatore dipende parzialmente dall'area della fascetta. In alternativa, si possono avvolgere eguali pezzi di filo di stagno attorno ai cavi delle candele. I conduttori interni dei cavi sono accoppiati tramite questi condensatori alla testina di misura dell'oscilloscopio, sicchè le variazioni di tensione nei conduttori vengono trasmesse alla testina di misura. Quest'ultima riduce queste variazioni di tensione, poichè esse sarebbero troppo grandi per poter venire applicate direttamente all'amplificatore *Y*: la tensione istantanea su una candela è molto alta. L'oscillogramma così consiste di una serie di picchi, la cui distanza è in relazione con la velocità del motore; se si fa ruotare più rapidamente il motore, apparirà sullo schermo un numero maggiore di picchi. Se l'accensione è in ordine, i picchi di tensione sulle varie candele avranno la stessa ampiezza e altrettanto avverrà per i picchi dell'oscillogramma. Se ad esempio una candela non è in ordine, il suo picco risulterà più basso degli altri. La candela difettosa potrà facilmente essere trovata togliendo momentaneamente una fascetta alla volta.

ESPERIMENTO 53: TEMPO DI COMMUTAZIONE DEL CONTATTO DI UN VIBRATORE

Circuito:

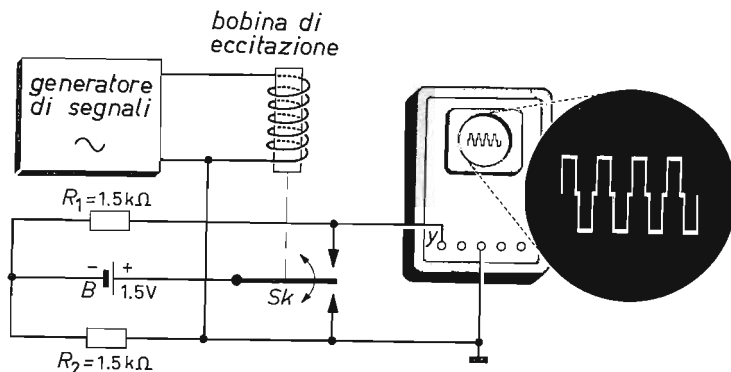



Fig. 53 *a* Fig. 53 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione di uscita e la frequenza del generatore di segnali fino a far funzionare il contatto del vibratore S_k.

b) Si commuta il canale *X* su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 53 *b.*

c) Si misuri la durata della parte alta, bassa e media dell'oscillogramma con l'aiuto della curva di taratura dell'esperimento 11 (vedi Fig. 11 *c*).

d) Si osservi se vi sono irregolarità (ad es. picchi o avvallamenti) visibili nell'oscillogramma e se le parti orizzontali della traccia si mantengono stabili nel tempo.

e) Si varia dapprima l'ampiezza e poi la frequenza del generatore di tensione e si confrontino i risultati con il punto *b.* Si ripetano i punti *b* e *c.*

Spiegazione:

Nell'oscillogramma si possono distinguere tre livelli. Il livello massimo si ha durante il tempo in cui il contatto mobile di S_k poggia contro il contatto fisso superiore; durante questo tempo l'amplificatore *Y* è collegato al terminale + della batteria mentre il terminale — è collegato a massa tramite R_2. Quando il contatto mobile poggia contro il contatto fisso inferiore, si ottiene il livello minimo, poichè il terminale — della batteria è ora collegato all'amplificatore *Y* tramite R_1 mentre il terminale + è a massa. Quando il contatto mobile è fra i due contatti fissi (ciò che accade ogni volta che avviene la commutazione) l'oscillogramma è al livello zero. Ciò corrisponde a una tensione di zero volt, dato che durante questo intervallo la batteria è distaccata. Se la corrente che eccita il vibratore è troppo bassa, il contatto mobile « esita » e quindi rimane appoggiato contro il relativo contatto fisso per un tempo molto breve. Il livello zero dura allora dippiù, mentre gli altri due livelli divengono più brevi. Se la corrente eccitatrice è troppo alta si ha un rimbalzo del contatto, che rende irregolare la commutazione. Il rimbalzo del contatto può anche avvenire con una corrente eccitatrice molto bassa.

ESPERIMENTO 54: PROPRIETA' SELETTIVE DI UN CIRCUITO ACCORDATO

Circuito:

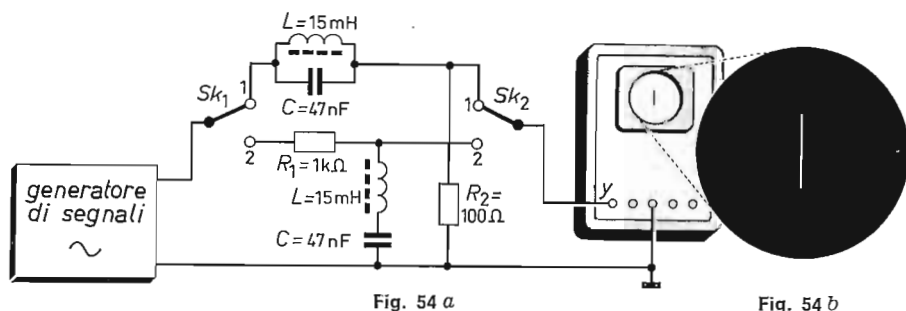



Fig. 54 *a* Fig. 54 *b*

Descrizione:

a) Si porta sul massimo la tensione di uscita del generatore di segnali e si porta la frequenza su circa 6 kHz. Si pongono i commutatori S_{k1} e S_{k2} sulla posizione 1.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 54 *b.*

c) Si regola la frequenza del generatore fino a che l'altezza dell'oscillogramma sia minima e si prenda nota di questa frequenza. Si misura l'altezza della traccia e si converta questa in tensione. Se necessario, si regoli l'amplificazione *Y.*

d) Si varia la frequenza portandola su valori più alti e più bassi; si prenda nota delle frequenze e delle corrispondenti tensioni. Si riportino questi valori in un grafico.

e) Si ripetono i punti *c* e *d* con S_{k1} e S_{k2} sulla posizione 2.

Spiegazione:

L'impedenza di un condensatore diminuisce al crescere della frequenza (esperimento 36) mentre quella di una bobina aumenta (esperimento 46). Ad una certa frequenza avviene che l'ampiezza della corrente nella bobina risulta uguale a quella nel condensatore, quando i due sono in parallelo, ossia quando ad essi è applicata la stessa tensione (commutatori sulla posizione 1). Siccome le correnti attraverso i due rami sono in opposizione di fase (a parte le piccole correnti che passano nelle componenti resistive dell'induttanza e della capacità), la corrente totale risulterà praticamente zero. La tensione su R_2 risulterà allora trascurabile. Alla risonanza, il circuito risonante in parallelo blocca perciò la tensione del generatore: la tensione sul circuito è alta e la corrente è bassa. Il fatto che la traccia nel punto *c* ha una certa altezza è dovuta alle imperfezioni del circuito, come ad esempio resistenza della bobina e distorsione del generatore di tensione. Se il condensatore e la bobina sono in serie (punto *e*) l'ampiezza della tensione sul condensatore è uguale a quella della tensione sulla bobina e, dato che esse sono in opposizione di fase (a parte le perdite), la loro somma è zero. Alla risonanza il circuito in serie agisce perciò quasi come un cortocircuito. La tensione sul circuito è allora bassa e la corrente che lo attraversa è alta.

ESPERIMENTO 55: OSCILLAZIONE IN UN CIRCUITO ACCORDATO

Circuito:

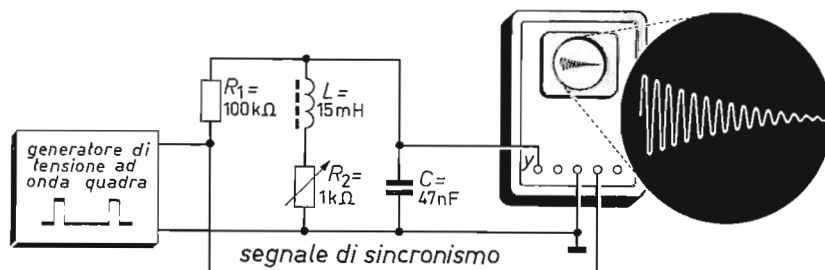



Fig. 55 *a* Fig. 55 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione del generatore su 10 V, la frequenza su 50 Hz e la durata d'impulso su 1 : 10. Si porta al minimo la resistenza R_2.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si sincronizza esternamente la base dei tempi con la tensione del generatore. Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere l'oscillogramma indicato nella Fig. 55 *b*.

c) Si misura il periodo dell'oscillogramma e da ciò si deduca la frequenza naturale del circuito accordato. Per questa misura conviene aumentare la velocità *X* in modo da rendere visibili sullo schermo pochi periodi.

d) Si varia la resistenza R_2 su alcuni valori alti e si confrontino i risultati con quelli del punto *c*.

Spiegazione:

La combinazione di *L*, *C* e R_2 costituisce un circuito accordato. L'oscillazione che avviene in un tale circuito accordato (o in qualunque altro sistema oscillante) ha la caratteristica che l'energia viene continuamente trasformata da una forma ad un'altra (ciò che avviene per esempio in un pendolo dove l'energia potenziale viene convertita in energia cinetica e viceversa).

Il condensatore carico contiene una certa quantità di energia elettrica che dipende soltanto dalla tensione. Il condensatore si scarica sulla bobina *L*, e di conseguenza la tensione esistente su *C* (e quindi l'energia immagazzinata in *C*), diminuisce mentre la corrente attraverso *L* aumenta. Quando il condensatore si è completamente scaricato, tutta l'energia è stata convertita in energia magnetica, la quale dipende solo dalla corrente che attraversa *L*. Questa corrente ora continua a circolare nella stessa direzione, caricando così *C* in direzione opposta. L'energia in *C* continua ora ad aumentare, mentre la corrente che attraversa *L* diminuisce gradualmente. Il tempo impiegato da un tale ciclo dipende dai valori di *L* e *C* e leggermente anche dal valore di R_2. Se la conversione di energia avvenisse senza perdite, si produrrebbe un'oscillazione persistente, ossia non smorzata. In pratica, invece, ogni oscillazione risulterà più piccola di quella precedente poichè R_2 consuma energia, che si trasforma in calore. Lo smorzamento del circuito può essere variato mediante R_2.

ESPERIMENTO 56: OSCILLAZIONE IN DUE CIRCUITI ACCOPPIATI

Circuito:

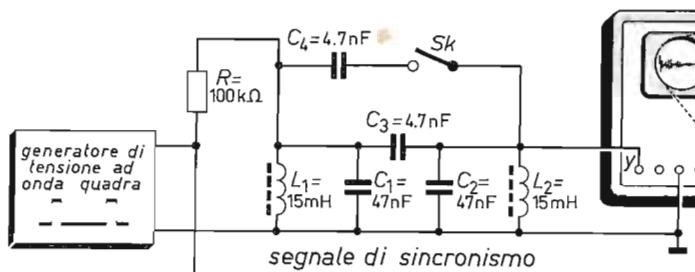



Fig. 56 *a* Fig. 56 *b*

Descrizione:

a) Si regola su 10 V la tensione ad onda quadra, con frequenza di ripetizione di 50 Hz e rapporto di impulso 1 : 10. Si apre l'interruttore S_k.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si sincronizza esternamente la base dei tempi con la tensione del generatore. Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere sullo schermo un oscillogramma simile a quello di Fig. 56 *b*.

c) Si misura la frequenza naturale dei circuiti accordati e si conti il numero di oscillazioni in ogni gruppo di oscillazioni. Se le distanze orizzontali sono troppo piccole per consentire una misura accurata, conviene aumentare la velocità *X* in modo da osservare sullo schermo pochi gruppi di oscillazioni.

d) Si ripete la misura del punto *c* con S_k chiuso.

Spiegazione:

Il circuito primario L_1 - C_1 è eccitato dalla tensione ad impulsi del generatore e tende ad oscillare alla maniera descritta nell'esperimento 55. Però esso è lascamente accoppiato con il circuito secondario L_2 - C_2 mediante il condensatore C_3: una piccola quantità di energia viene perciò trasferita a L_2 - C_2 ogni volta che si ha un picco di tensione in L_1 - C_1, sicchè si produce in L_2 - C_2 un'oscillazione di ampiezza gradualmente crescente. L'ampiezza delle oscillazioni in L_1 - C_1 diminuirà in conformità, dato che vi è una data quantità di energia nel sistema. Quando la traccia dell'oscilloscopio ha raggiunto la sua ampiezza massima, tutta l'energia è nel circuito secondario. Il numero di picchi di tensione necessari per trasferire tutta l'energia dal primario al secondario può essere contato facilmente (vedi punto *c*). Quando il commutatore S_k viene chiuso (punto *d*) l'accoppiamento viene raddoppiato. Una maggiore quantità di energia viene trasferita ad ogni oscillazione, sicchè nel periodo di ogni gruppo di oscillazioni vi sarà un numero minore di oscillazioni. Il numero dei picchi risulterà circa metà di quello che si aveva prima. Per effetto delle perdite di energia, l'oscillazione di entrambi i circuiti diminuisce gradualmente (vedi esperimento 55).

ESPERIMENTO 57: ANALISI DELLE FREQUENZE DI UNA TENSIONE AD ONDA QUADRA

Circuito:

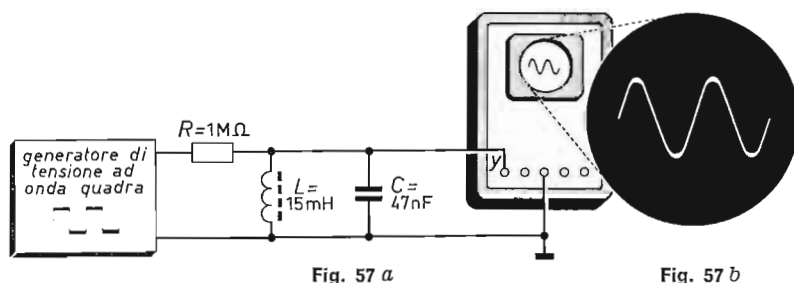



Fig. 57 *a* Fig. 57 *b*

Descrizione:

a) Si porta sul massimo la tensione di uscita del generatore di onda quadra, si pone la frequenza di ripetizione su circa 6 kHz, con rapporto di impulso di 1 : 1.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia stabile.

c) Si varia la frequenza del generatore di tensione attorno a 6 kHz fino a che la traccia risulti sinusoidale. Se necessario, si regoli l'amplificazione *Y*.

d) Si misura il periodo e l'ampiezza della tensione *Y*.

e) Si riduce gradualmente la frequenza del generatore di tensione e si ripete il punto *d* ogni volta che appare sullo schermo un'onda sinusoidale.

f) Si ripetono i punti *c*, *d* ed *e* per un rapporto di impulso 1 : 2.

Spiegazione:

Quando un circuito risonante viene eccitato, si produce un'oscillazione libera smorzata (esperimento 55). L'oscillazione è persistente (sinusoidale) quando la perdita di energia nel circuito viene costantemente reintegrata. L'oscillazione persistente preferisce sempre assumere la frequenza naturale del circuito (l'energia necessaria è allora minima). L'azione selettiva di un circuito accordato si basa appunto su questo fatto (vedi esperimento 54). Nel punto *c* il circuito viene eccitato alla sua frequenza naturale, sicchè l'energia viene fornita negli istanti giusti; viene così prodotta un'oscillazione persistente (non smorzata). Nel punto *e* viene prodotta un'oscillazione non smorzata quando la frequenza naturale del circuito accordato è un multiplo dispari della frequenza dell'onda quadra. In tutti gli altri casi il prodotto della tensione del circuito per la corrente ad onda quadra (energia fornita) è zero. L'ampiezza dell'oscillazione è più bassa man mano che la frequenza dell'onda quadra viene ridotta, poichè l'energia fornita è minore. Considerando l'azione selettiva di un circuito accordato (esperimento 54) possiamo dire che il circuito filtra le armoniche (esperimento 15) estraendole dalla tensione ad onda quadra. Se l'onda quadra è asimmetrica, si troveranno anche armoniche pari (punto *f*).

ESPERIMENTO 58: SPLENDORE DI UNA LAMPADA A INCANDESCENZA

Circuito:

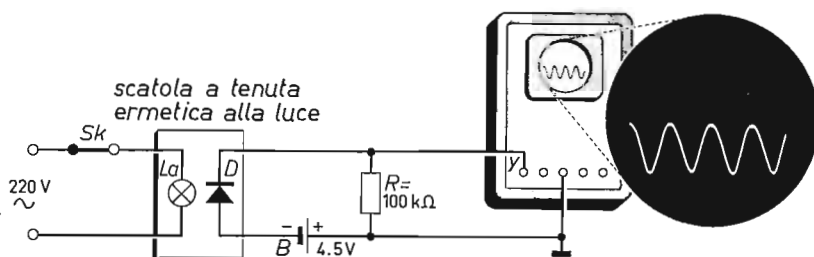



Fig. 58 *a* Fig. 58 *b*

Descrizione:

a) Si apre l'interruttore S_k. Si pongono la lampada L_a in esame (ad esempio una lampada da 25 W) e il fotodiodo *D* in una scatola ermetica alla luce, coperta ad esempio con carta nera.

b) Si commutano il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regola la posizione *Y* fino a che la traccia risulti in alto sullo schermo.

c) Si chiude S_k e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 58 *b*. Si sincronizza la base dei tempi con la tensione di rete.

d) Si misura il valore picco-picco dell'oscillogramma e la distanza tra il livello regolato nel punto *b* e la sommità della traccia.

e) Si misura il periodo mediante la Fig. 11 *c*.

f) Si ripetono *c* e *d* dopo aver sostituito L_a con una lampada più potente.

Spiegazione:

La combinazione di resistenza, batteria e fotodiodo costituisce un « rivelatore di luce » con un tempo di risposta molto breve. Praticamente, la tensione sulla resistenza varia proporzionalmente all'illuminazione del diodo. La deflessione *Y* costituisce quindi una misura dell'intensità luminosa della lampada, che è resa incandescente da una corrente alternata a 50 Hz. Dopo aver regolato il « livello del nero » nel punto *b*, si constata nel punto *c* che la luce emessa dalla lampada varia periodicamente in intensità. Il calore sviluppato nel filamento della lampada dipende solo dall'ampiezza e non dalla direzione della corrente alternata, la quale diventa massima 100 volte al secondo e si annulla 100 volte al secondo (punto *e*). Però il filamento non può raffreddarsi completamente in tale breve intervallo e la sua temperatura (flusso luminoso emesso) non scenderà a zero, ma varia nel tempo in base alla dissipazione di calore (punto *d*) fra un valore massimo e un valore minimo. L'ampiezza di questa oscillazione di temperatura dipende dalla capacità termica del filamento. Le oscillazioni di temperatura sono perciò minori per una lampada di forte potenza (dove il filamento è più grosso) che per una lampada di minore potenza.

ESPERIMENTO 59: SPLENDORE DI UNA LAMPADA FLUORESCENTE

Circuito:

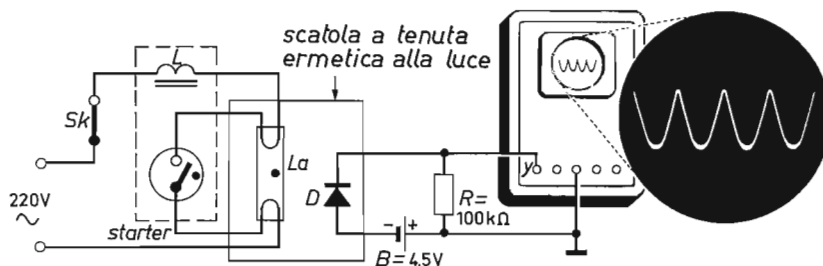



Fig. 59 *a* Fig. 59 *b*

Descrizione:

a) Si apre l'interruttore S_k. Si pongano la lampada L_a in esame e il fotodiodo *D* in una scatola ermetica alla luce coperta ad esempio con carta nera.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regola la posizione *Y* fino a che la traccia risulti in alto sullo schermo.

c) Si chiude S_k e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 59 *b*. Si sincronizza la base dei tempi con la tensione di rete.

d) Si misura il valore picco-picco dell'oscillogramma e si determini la distanza fra il livello regolato nel punto *b* e la sommità della traccia.

e) Si misuri il periodo mediante la Fig. 11 *c*.

f) Si confrontino i risultati ottenuti nei punti *d* ed *e* con quelli dell'esperimento 58.

Spiegazione:

A freddo, la linguetta bimetallica dello starter non fa contatto; quando S_k viene chiuso quasi tutta la tensione di rete risulta applicata allo starter. Nello starter a riempimento gassoso si innesca allora una scarica che riscalda la linguetta bimetallica. Quest'ultima allora si piega fino a fare contatto, consentendo così alla corrente di circolare e riscaldare i filamenti della lampada fluorescente. Nello stesso tempo, la linguetta bimetallica si raffredda e apre il contatto. Viene così prodotta sulla bobina *L* una elevata tensione autoindotta che accende la lampada fluorescente. La tensione sulla lampada allora cade alla tensione di regime, alla quale lo starter non può lavorare. I filamenti della lampada sono mantenuti alla loro temperatura dal bombardamento di elettroni e di ioni prodotti dalla scarica nel gas. Questa scarica inoltre eccita la fluorescenza della polvere che riveste la parte interna del bulbo della lampada, producendo così un alto flusso luminoso che è caratteristico delle lampade fluorescenti. La lampada è alimentata alla tensione di rete, una tensione alternata a 50 Hz. La tensione pertanto diviene zero 100 volte al secondo (punto *e*) provocando il quasi completo spegnimento della lampada: infatti nel punto *c* vengono osservate forti fluttuazioni luminose. La luce (l'oscillogramma) è ad impulsi. Come risultato, la lampada fluorescente può produrre un effetto di sfarfallìo più o meno evidente all'occhio dell'osservatore (effetto stroboscopico).

ESPERIMENTO 60: **DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI DI INNESCO E DI REGIME DI UN DIODO A GAS**

Circuito:

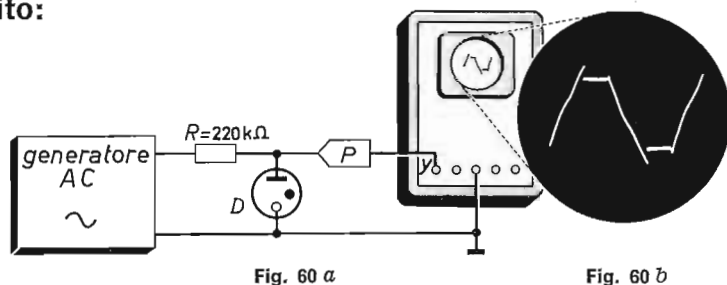



Fig. 60 *a* Fig. 60 *b*

Descrizione:

a) Il diodo a gas *D* è del tipo usato come indicatore di tensione di rete. Il generatore *AC* è un trasformatore variabile di rete con una tensione di uscita di 100 V.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 60 *b*. In molti casi bisognerà impiegare una sonda (*P*).

c) Si misura la distanza verticale tra i due picchi e fra le due parti orizzontali dell'oscillogramma e si convertano i risultati in tensione.

d) Si aumenta la tensione del generatore e si studi l'oscillogramma risultante.

e) Si riduce la tensione del generatore fino ad ottenere lo spegnimento del diodo (nessuna luce). Si confronti l'oscillogramma ottenuto a questo modo con quello del punto *d*.

Spiegazione:

Quando il diodo a gas è spento, praticamente non circola alcuna corrente attraverso *R*, sicchè non si ha alcuna caduta di tensione su essa. La tensione sul diodo allora segue la tensione applicata fino all'istante dell'innesco (prima parte dell'oscillogramma). In tale istante circola corrente e la tensione sul diodo cade alla tensione di regime (a causa della caduta di tensione su *R*). La tensione di regime non dipende in maniera apprezzabile dalla corrente e si mantiene praticamente costante finchè il diodo rimane acceso (parte orizzontale dell'oscillogramma). Quando la tensione alternata scende al di sotto della tensione di regime, il tubo si spegne e la tensione sul diodo segue ancora l'andamento della tensione alternata. Nel secondo semiperiodo si ripete la sequenza suddetta con polarità opposta. La tensione di innesco (punto *c*) corrisponde perciò a metà del valore picco-picco dell'oscillogramma, e la tensione di regime a metà della distanza fra le parti orizzontali. Nel punto *d* la parte orizzontale diviene più lunga, dato che la tensione alternata è maggiore e quindi rimane per un tempo maggiore al di sopra della tensione di regime. Nel punto *e* l'ampiezza della tensione alternata è minore della tensione di regime, sicchè il tubo non può innescarsi. La tensione sul diodo allora segue la tensione alternata per tutto il tempo dando luogo ad un oscillogramma sinusoidale.

ESPERIMENTO 61: THYRATRON IN UN CIRCUITO A CORRENTE ALTERNATA

Circuito:

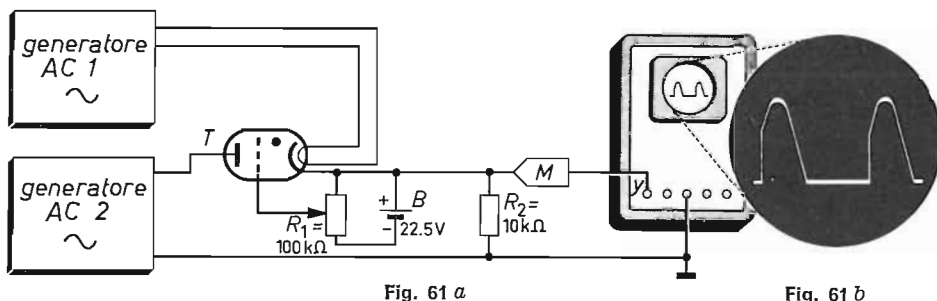



Fig. 61 *a* Fig. 61 *b*

Descrizione:

a) Il thyratron *T* è di tipo piccolo (in questo esperimento la massima $I_a \approx$ 15 mA). Il generatore di corrente alternata 1 è regolato sulla tensione nominale del filamento del thyratron e il generatore di corrente alternata 2 può essere variato da 2 a 150 V. Entrambi sono trasformatori di rete. Il cursore di R_1 è posto totalmente in alto.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 61 *b*. La tensione da misurare è così alta che di solito è necessario inserire la sonda *P* nel circuito (Fig. 61 *a*).

c) Si studi l'oscillogramma e si osservi se il thyratron si innesca e si spegne.

d) Si sposta il cursore di R_1 verso il basso e si confronti il risultante oscillogramma con quello del punto *c*. Si osservi se ad un dato valore di R_1 l'oscillogramma diventa una linea orizzontale continua.

Spiegazione:

Il thyratron diviene conduttore quando le molecole di gas si ionizzano e ciò avviene quando gli elettroni colpiscono le molecole di gas con una velocità sufficientemente alta. Il catodo caldo è la sorgente di elettroni, sicchè la ionizzazione può avvenire solo quando l'anodo è positivo rispetto al catodo. La tensione anodica alla quale comincia la ionizzazione (tensione di innesco) dipende dalla tensione dell'elettrodo di controllo (tensione di griglia). Se la tensione di griglia è zero (cursore di R_1 in alto) il tubo si innesca alla minima tensione anodica, e rimane innescato finchè la tensione del generatore 2 è praticamente zero. Quando il tubo è innescato (tensione di regime) avviene che quasi tutta la tensione applicata cade su R_2. L'oscillogramma (punto *c*) consiste pertanto in una serie di semionde sinusoidali positive, con un piccolo salto verticale brusco nel bordo iniziale di ciascuna semionda. Una tensione negativa di griglia « frena » gli elettroni; il tubo allora si innesca a tensioni più alte quanto più il cursore di R_1 viene spostato in basso (punto *d*), sicchè l'oscillogramma perde una fetta più grande. L'oscillogramma scompare totalmente quando il thyratron non si innesca affatto (con un'alta tensione negativa di griglia).

ESPERIMENTO 62: **CORRENTE PRIMARIA DI UN TRASFORMATORE DI RETE**

Circuito:

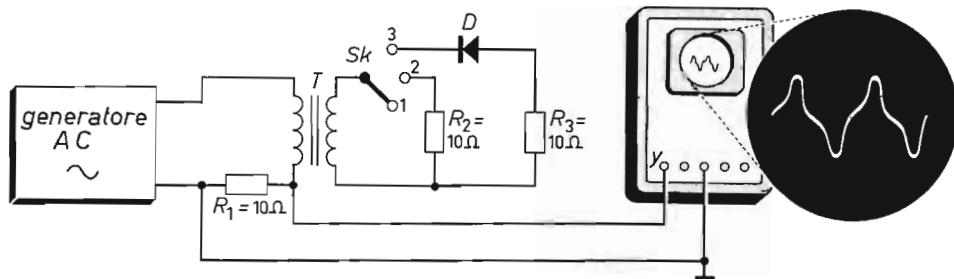



Fig. 62 *a* Fig. 62 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione del generatore (un trasformatore variabile di rete con avvolgimenti separati) fino a che il trasformatore *T* è alla sua tensione di lavoro. Si usi come *T* ad esempio un trasformatore da campanello elettrico. Si pone S_k sulla posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere la traccia di Fig. 62 *b.* Si sincronizza con la tensione di rete.

c) Si studi l'oscillogramma e si determinino i punti nei quali il nucleo è saturato.

d) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si confronti il nuovo oscillogramma con quello del punto *c.*

e) Si commuta S_k sulla posizione 3 e si confronti l'oscillogramma con quello precedente. Si veda che cosa avviene quando il diodo *D* viene invertito.

Spiegazione:

Quando la corrente di eccitazione di un elettromagnete (nucleo del trasformatore) oltrepassa un certo valore, qualunque ulteriore aumento di corrente non produce praticamente alcun aumento di magnetizzazione; il nucleo è allora saturato. Per un campo magnetico forte, variabile sinusoidalmente, la corrente diventa molto forte dopo che si sia raggiunta la regione di saturazione. Nel momento in cui l'eccitazione è massima, la corrente risulta sensibilmente maggiore rispetto alla corrispondente forma sinusoidale. Siccome R_1 è piccola, la tensione di alimentazione sinusoidale è uguale alla tensione indotta primaria. La tensione indotta in entrambi gli avvolgimenti è prodotta da un campo sinusoidalmente variabile. Perciò, quando S_k è nella posizione 1, la corrente di eccitazione (tensione su R_1) presenterà la suddetta distorsione. Attraverso il secondario, e quindi attraverso R_2 (punto *d*), circola una corrente alternata e. siccome il campo deve essere lo stesso, attraverso R_1 circola un'altra corrente distorta. L'oscillogramma è allora più alto e non presenta più un picco acuto. Nel punto *e*, la presenza del diodo fa sì che questa seconda corrente indistorta circoli solo nei semiperiodi positivi o negativi.

ESPERIMENTO 63: ANDAMENTO DELLA CURVA DI ISTERESI DI UN NUCLEO DI LAMIERINI PER TRASFORMATORI

Circuito:

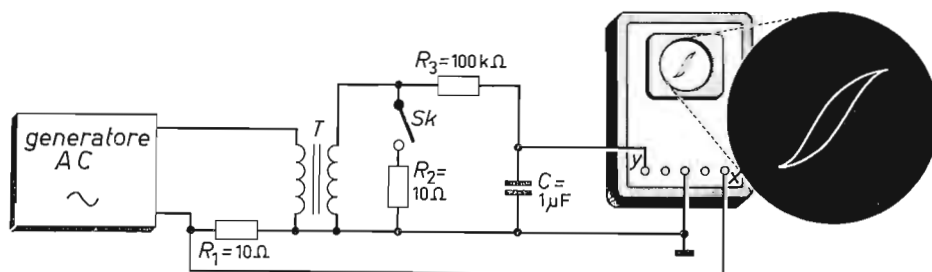



Fig. 63 *a* Fig. 63 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione del generatore (un trasformatore variabile di rete con avvolgimenti separati) fino a che il trasformatore *T* (ad esempio un trasformatore da campanello elettrico) sia alla sua tensione di lavoro. Si apre S_k.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere sullo schermo una curva a forma di doppia *S* come quella di Fig. 63 *b*.

c) Si studi questo oscillogramma. Si esamini con attenzione la parte che corrisponde al magnetismo residuo del nucleo e si indichi dove il ferro è saturato.

d) Si riduce la tensione del generatore e si osservino i risultati.

e) Si riporta la tensione del generatore al suo valore originario e si chiude S_k; si confronti il risultante oscillogramma con quello dei punti *c* e *d*.

Spiegazione:

La tensione autoindotta è uguale alla tensione del generatore, dato che R_1 è piccola; la variazione di campo per unità di tempo è quindi sinusoidale. In queste condizioni, la differenza di fase fra la tensione indotta e l'induzione magnetica è di un quarto di periodo. L'induzione magnetica è proporzionale alla tensione sul condensatore (tensione *Y*) che è anch'essa sfasata di 90° (a causa dell'elevato valore di R_3). Siccome la tensione *X* (su R_1) con S_k aperto è proporzionale alla corrente di eccitazione, l'oscillogramma mostra la relazione fra l'induzione magnetica e l'eccitazione. Le parti in alto e in basso della curva rappresentano la saturazione del ferro (esperimento 62). Gli istanti di massima corrente e di massima intensità di campo magnetico coincidono (estremità in basso a sinistra e in alto a destra), ma l'istante di minima corrente non coincide con quello di minima induzione magnetica, ossia le deflessioni *X* e *Y* non si annullano contemporaneamente. L'induzione magnetica residua quando la corrente è zero è denominata magnetismo residuo (punto *c*). Una tensione alternata più bassa (punto *d*) significa che il campo non varia molto. La corrente magnetizzante massima è quindi minore di prima, e la variazione della corrente è meno distorta, sicchè l'oscillogramma è meno curvo. Quando S_k viene chiuso, la corrente che passa attraverso R_1 è praticamente indistorta (esperimento 62).

ESPERIMENTO 64: ANDAMENTO DEL CICLO DI ISTERESI DI UN DIELETTRICO

Circuito:

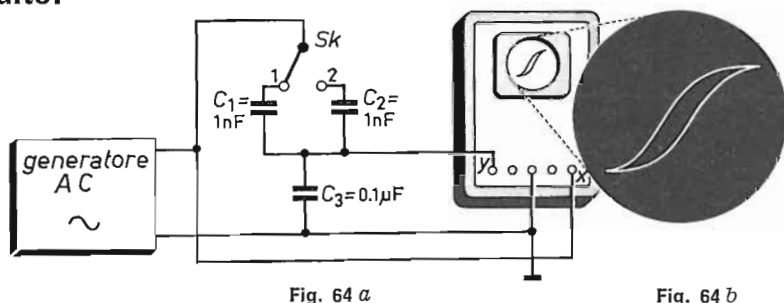



Fig. 64 *a* Fig. 64 *b*

Descrizione:

a) Si rende la tensione del generatore (trasformatore variabile di rete con avvolgimenti separati) uguale alla tensione di lavoro dei condensatori C_1 e C_2. Il primo è un condensatore ceramico dipendente dalla tensione (ceracap) e C_2 è un condensatore a poliestere. Si pone S_k sulla posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 64 *b*.

c) Si studi l'oscillogramma; si indichino i punti dove il dielettrico è saturo.

d) Si diminuisce la tensione del generatore e si osservino i risultati.

e) Si riporta la tensione del generatore al suo valore originario, si commuta S_k sulla posizione 2 e si confronti l'oscillogramma con quello dei punti *c* e *d*.

Spiegazione:

La capacità di C_3 è molto maggiore di quella di C_1 e C_2; la tensione su C_1 o C_2 è quindi praticamente uguale alla tensione *X* fornita dal generatore. La carica (prodotto della corrente per il tempo) su C_1 è uguale a quella su C_3 (con S_k in posizione 1). Siccome la carica e la tensione sono proporzionali per C_3 (condensatore « normale ») la tensione applicata al canale *Y* è proporzionale alla carica su C_1. L'oscillogramma allora mostra la relazione fra la carica (verticale) e la tensione (orizzontale) del « ceracap ». Essa è molto simile a quella dell'esperimento 63. Esattamente come il ferro di un elettromagnete diviene eventualmente « saturo » man mano che la corrente magnetizzante aumenta, così il materiale isolante fra le armature del condensatore diviene saturo man mano che la tensione (intensità di campo) aumenta. Il dielettrico evidentemente raggiunge la sua massima polarizzazione con tensioni relativamente basse. Un aumento della tensione oltre questo punto non provocherà alcun ulteriore aumento della carica. Questo effetto si verifica particolarmente sui condensatori con dielettrico ceramico (come il « ceracap »). In un condensatore a poliestere la tensione e la corrente sono praticamente proporzionali. L'oscillogramma del punto *e* risulta pertanto una retta.

ESPERIMENTO 65: CORRENTE NEL DIODO NELLA RETTIFICAZIONE MONOFASE

Circuito:

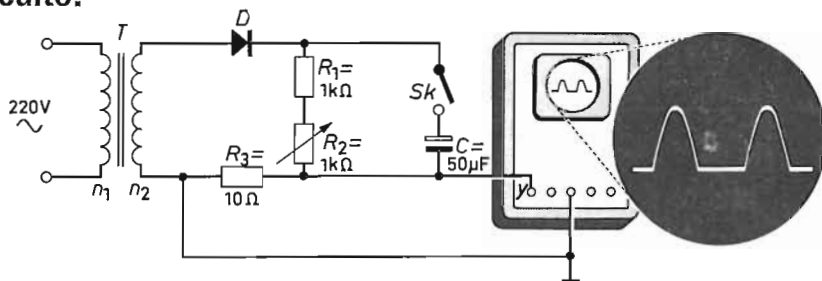



Fig. 65 *a* Fig. 65 *b*

Descrizione:

a) Si apre S_k e si porta al minimo R_2. Si scelga un trasformatore T con un rapporto spire $n_1 : n_2 \approx 2 : 1$. Il diodo D deve essere in grado di sopportare una corrente di picco di circa 1 A con una tensione di picco di circa 300 V.

b) Si commuta il canale X su « esterno » e si regolano l'amplificazione Y e la velocità X fino ad ottenere la traccia di Fig. 65 *b*. Si sincronizza con la tensione di rete.

c) Si studi l'oscillogramma e si osservi quando il diodo conduce e quando non conduce.

d) Si riduce R_2 gradualmente fino al suo valore minimo e si osservino i risultati.

e) Si chiude S_k e si confronti l'oscillogramma con quello dei punti *c* e *d* (se necessario si riduca l'amplificazione Y). Si osservi il modo come varia l'oscillogramma man mano che R_2 viene aumentato fino al massimo.

Spiegazione:

Durante i semiperiodi negativi, il diodo è interdetto, mentre conduce nei semiperiodi positivi. Nessuna corrente circola nel diodo nello stato di interdizione, mentre nello stato di conduzione la corrente è praticamente uguale alla tensione del trasformatore divisa per R_1+R_2. La corrente nel diodo (l'oscillogramma), pertanto consiste della parte positiva di un'onda sinusoidale (punto *c*). L'altezza della traccia può essere variata fino ad un fattore 2 mediante R_2 (punto *d*). Nel punto *e* il diodo conduce solo per circa un ottavo di ciascun periodo. Il condensatore viene rapidamente caricato dopo la chiusura di S_k, ma esso può scaricarsi solo parzialmente nell'intervallo fra due impulsi di corrente. Affinchè il diodo conduca occorre che la tensione alternata raggiunga un valore uguale alla tensione esistente sul condensatore (circa il 70 %). L'anodo è perciò positivo rispetto al catodo solo per un breve intervallo e quindi si hanno brevi impulsi di corrente. Se si aumenta la resistenza variabile R_2, la tensione sul condensatore diminuisce più lentamente, sicchè il tempo di conduzione del diodo diminuisce e gli impulsi di corrente risultano ancora più brevi.

ESPERIMENTO 66: **TENSIONE DI USCITA DI UN RETTIFICATORE AD ONDA INTERA**

Circuito:

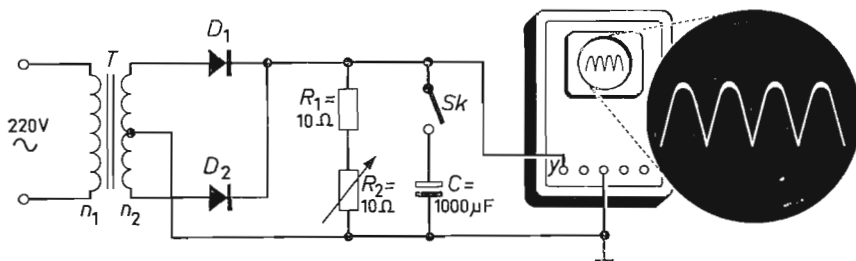



Fig. 66 *a* Fig. 66 *b*

Descrizione:

a) Si apre S_k e si rende R_2 massimo. Il trasformatore *T* ha una presa centrale (il rapporto di trasformazione $n_1 : n_2$ è di circa 20 : 1). I diodi D_1 e D_2 debbono essere in grado di sopportare correnti di picco di circa 10 *A*.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. 66 *b*. Si sincronizza con la tensione di rete.

c) Si studi l'oscillogramma; si misuri il periodo della tensione *Y*.

d) Si varia R_2 dal massimo al minimo e si osservino i risultati.

e) Si chiude S_k e si confronti il risultante oscillogramma con quello dei punti *c* e *d* (se necessario si aumenti l'amplificazione *Y*). Si veda cosa avviene quando R_2 viene variato dal massimo al minimo.

Spiegazione:

Quando la tensione del terminale in alto del trasformatore passa attraverso il semiperiodo positivo, D_1 conduce e l'amplificatore *Y* è collegato al trasformatore; D_2 è interdetto durante questo tempo. Quando la tensione del terminale in basso del trasformatore passa attraverso il semiperiodo positivo, D_2 conduce e D_1 non conduce. Pertanto i due diodi applicano alternativamente onde semisinusoidali all'amplificatore *Y*, sicchè l'oscillogramma è una successione di onde semisinusoidali positive (punto *c*). In teoria, l'altezza non dipende dalla posizione di R_2. In pratica, a causa della resistenza dei diodi e della resistenza degli avvolgimenti del trasformatore, l'altezza diminuirà al diminuire di R_2, ossia all'aumentare della corrente nei diodi (punto *d*). Nel punto *e* il condensatore è carico e, prima che i diodi possano condurre, la tensione alternata deve raggiungere un valore positivo uguale alla tensione immagazzinata nel condensatore carico. La parte dell'oscillogramma che sale più rapidamente corrisponde alla carica del condensatore e la parte che diminuisce gradualmente è la scarica. Quando R_2 viene aumentato, il condensatore si scarica più lentamente. La parte discendente dell'oscillogramma diviene allora meno inclinata, la parte ascendente diviene più corta e l'altezza diviene minore.

ESPERIMENTO 67: ALCUNE MISURE SU UN LIMITATORE DI TENSIONE

Circuito:

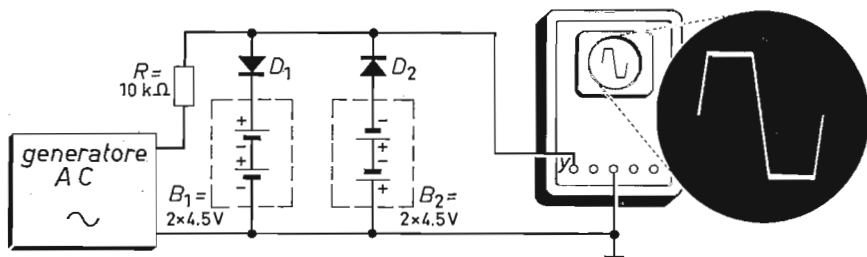



Fig. 67 *a* Fig. 67 *b*

Descrizione:

a) Si regola la tensione del generatore su circa 30 V di picco. Il generatore è un trasformatore variabile di rete con avvolgimenti separati. I diodi D_1 e D_2 debbono essere in grado di resistere ad una tensione di 18 V e ad una corrente di circa 2 mA.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. 67 *b*. Si sincronizzi con la tensione di rete.

c) Si studi l'oscillogramma e si osservi quando i diodi sono in conduzione.

d) Si riduce gradualmente la tensione del generatore fino a che D_1 e D_2 non conducono più. Si veda cosa accade.

e) Si porta la tensione di B_1 a 4,5 V eliminando una batteria e si osservino i risultati. Si veda che cosa avviene quando anche B_2 viene dimezzata.

Spiegazione:

La tensione alternata del generatore sale da zero a un valore massimo di 30 V. Appena essa oltrepassa il valore di 9 V, il diodo di sinistra diviene conduttore e collega il canale *Y* con il terminale + di B_1. La tensione *Y* rimane uguale alla tensione di B_1 per tutto il tempo in cui il diodo di sinistra conduce. La corrente del diodo che carica B_1 provoca una caduta di tensione su *R*. La parte di tensione sinusoidale che oltrepassa i 9 V cade su *R*. Appena la tensione alternata scende al di sotto di +9 V il diodo di sinistra si interdice e il canale *Y* risulta « scollegato » rispetto alla batteria B_1. Ora nessuna corrente circola attraverso *R*, sicchè la tensione *Y* segue l'ulteriore diminuzione della tensione alternata fino a raggiungere il valore di —9 V, quando il diodo di destra diviene conduttore e collega il canale *Y* al — di B_2. Questa connessione viene interrotta ancora quando la tensione alternata assume un valore meno negativo di —9 V. La parte di tensione alternata più negativa di —9 V si localizza su *R*. L'oscillogramma (punto *c*) è quindi una sinusoide tronca, il cui massimo livello corrisponde alla tensione di B_1 e il minimo a quella di B_2 (punto *e*). Se l'ampiezza della tensione alternata è minore della tensione della batteria, naturalmente non si ha alcuna limitazione (punto *d*) e si avrà un oscillogramma sinusoidale.

ESPERIMENTO 68: EFFETTO DI IMMAGAZZINAMENTO DI LACUNE IN UN DIODO A SEMICONDUTTORE

Circuito:

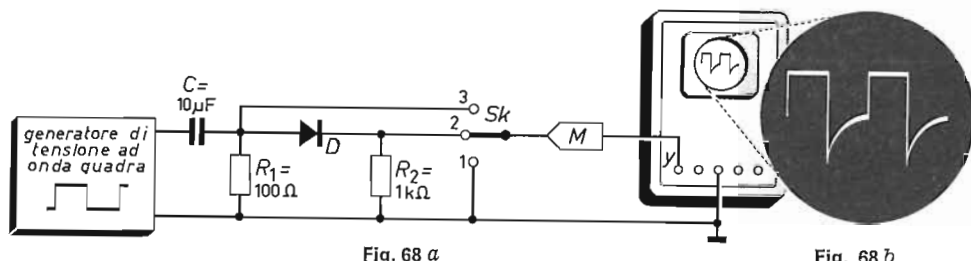



Fig. 68 *a*

Fig. 68 *b*

Descrizione:

a) Si rende massima la tensione del generatore, con frequenza 10 kHz e rapporto di impulso su 1 : 1. Il diodo *D* è del tipo usato negli alimentatori da rete. Si usi la sonda *P*. Si ponga S_k in posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* su « interno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regola la posizione *Y* fino ad ottenere la traccia nel centro dello schermo.

c) Si commuta S_k sulla posizione 3. Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere un oscillogramma ad onda quadra. Si controlli se il valore medio di questa tensione coincide col livello zero regolato in *b*.

d) Si commuta S_k sulla posizione 2. Si confronti l'oscillogramma risultante con quello di Fig. 68 *b*.

e) Si sostituisce *D* con un « diodo di commutazione » e si ripeta il punto *d*.

Spiegazione:

Siccome la resistenza del « ramo diodo-R_2 » è grande in confronto a R_1, non ha alcuna influenza il fatto che il diodo conduca o no, il valore medio della tensione ad onda quadra su R_1 è praticamente uguale al livello zero. La tensione applicata al « ramo diodo-R_2 » è quindi alternativamente positiva e negativa (punto *c*). Se il diodo fosse ideale, il semiperiodo negativo della tensione a onda quadra apparirebbe sul diodo e il semiperiodo positivo su R_2. L'oscillogramma (punto *d*) dovrebbe allora giacere al di sopra del livello zero, e avrebbe altezza metà rispetto a quello del punto *c*. Si rileva però che ciò è parzialmente vero. Oltre che in direzione diretta, circola brevemente una corrente dopo che la tensione applicata salta al livello negativo; avviene quindi come se la commutazione dalla conduzione allo stato di interdizione fosse « ritardata ». Nel periodo di conduzione, i portatori di carica sono forniti al diodo, e durante il periodo di interruzione alcuni di essi rimangono nel materiale del diodo. Essi debbono essere eliminati perchè il diodo possa interrompersi e ciò significa che la corrente circola in direzione inversa. Questo effetto di « immagazzinamento di lacune » può essere considerato equivalente all'aggiunta di una capacità in parallelo, nel circuito equivalente del diodo.

ESPERIMENTO 69: **CIRCUITI SELETTORI DI LIVELLO**

Circuito:

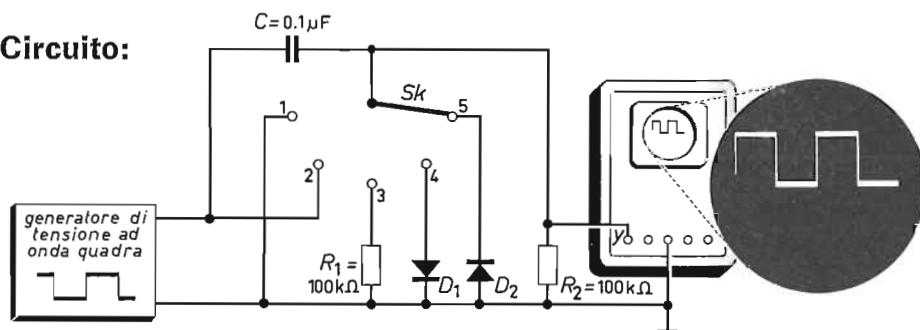



Fig. 69 *a* Fig. 69 *b*

Descrizione:

a) Si porta su 10 V picco-picco la tensione del generatore; si regola la frequenza di ripetizione su 1 kHz con rapporto di impulso 1 : 1. Si porta il commutatore S_k sulla posizione 1. Si usino diodi di commutazione per D_1 e D_2.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regola la posizione *Y* fino ad ottenere la traccia nel centro dello schermo.

c) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si regola l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. 69 *b*, con l'altezza della traccia alquanto minore di metà dell'altezza dello schermo.

d) Si misuri la distanza fra il livello medio dell'oscillogramma e il livello zero regolato nel punto *b* e si converta il risultato in tensione (vedi esperimento 1).

e) Si ripete il punto *d* con S_k sulle posizioni *3, 4,* e *5.*

Spiegazione:

Il livello zero è regolato nel punto *b*; il canale *Y* è allora cortocircuitato. Con S_k in posizione 2, l'uscita del generatore è collegata direttamente all'amplificatore *Y*. L'oscillogramma allora mostra tutta la tensione del generatore (punto *c*). Con S_k in posizione 3, il condensatore è caricato al valore medio della tensione del generatore (*C* blocca la tensione continua). La tensione media sulla resistenza è allora zero: l'oscillogramma si estende dippiù al di sopra che al di sotto del livello zero. Nella posizione 4 di S_k, D_1 conduce finchè la tensione *Y* è positiva e circola una corrente di carica nel condensatore. Questo condensatore allora si carica ad un livello corrispondente al livello massimo della tensione del generatore. Vi è quindi una tensione ad onda quadra con un livello massimo di 0 V sul diodo, ossia il massimo dell'oscillogramma è a livello zero. Nella posizione 5, D_2 conduce finchè la tensione *Y* è negativa, ciò che dà una corrente che carica il condensatore fino a che la tensione di quest'ultimo è esattamente uguale al minimo livello della tensione del generatore. L'oscillogramma risulta allora esattamente sopra il livello zero.

ESPERIMENTO 70: CIRCUITI DI SBLOCCO (circuiti « porta »)

Circuito:

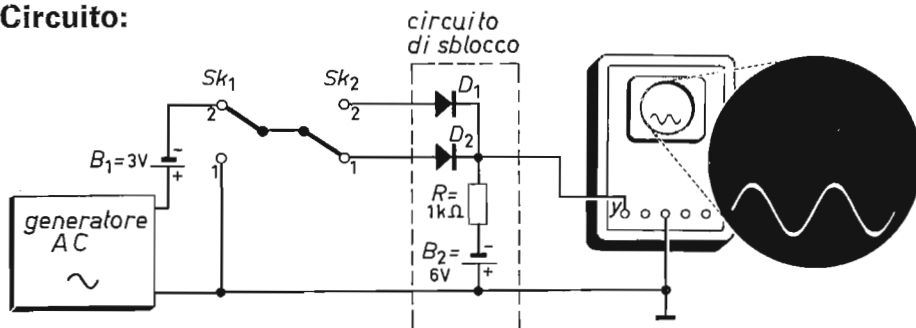



Fig. 70 *a* Fig. 70 *b*

Descrizione:

a) Si pongono S_{k1} e S_{k2} nella posizione 1. Si regola la tensione del generatore su circa 1,5 V e la frequenza su 50 kHz. Il generatore è un trasformatore di rete o un generatore di segnale con un trasformatore di uscita. D_1 e D_2 sono diodi di commutazione.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si porta la traccia al centro dello schermo mediante il comando di posizione *Y*.

c) Si porta S_k sulla posizione 2. Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino a che la traccia abbia la forma indicata in Fig. 70 *b*. Si sincronizzi con la tensione di rete.

d) Si collega il punto 2 di S_{k2} con il terminale di massa. A questo modo il segnale è bloccato.

e) Si invertono D_1, D_2 e B_2. Si commuta S_{k1} e S_{k2} sulla posizione 1 e si ripetono i punti *b, c* e *d*. Si confrontino i risultati con quelli del circuito di Fig. 70 *a*.

Spiegazione:

Con entrambi i commutatori sulla posizione 1, il canale *Y* è cortocircuitato tramite il diodo conduttore D_2; la tensione di B_2 allora cade completamente su *R*. L'oscillogramma nel punto *b* (linea o puntino luminoso) rappresenta allora il livello zero. Nel punto *c* D_2 conduce permanentemente, dato che la tensione del contatto mobile del commutatore rispetto al terminale di massa varia fra —4,5 e —1,5 V. L'oscillogramma (rappresentante la somma della tensione di B_1 e della tensione alternata) è quindi un'onda sinusoidale con un livello medio di 3 V al di sotto del livello zero. Nel punto *d* la traccia scompare: collegando a massa il punto 2 di S_{k2} si cortocircuita il canale *Y*, dato che D_1 conduce mentre D_2 è interdetto, essendo negativa la sua tensione anodica. Quando uno dei punti 1 e 2 di S_{k2} viene collegato a massa, mentre il segnale è applicato all'altro punto, il segnale non apparirà sull'amplificatore *Y*, mentre se tale punto non è collegato a massa il segnale apparirà. Nel punto *e* il diodo inserito da S_{k2} conduce sempre. Allora vedremo il livello zero quando S_{k1} è commutato sulla posizione 1 e la tensione totale (il segnale) quando S_{k1} è sulla posizione 2. Se il catodo del diodo che non è inserito è a massa, il segnale rimane applicato all'amplificatore *Y*, dato che il diodo collegato a massa è interdetto permanentemente.

ESPERIMENTO 71: COMPENSAZIONE DELLA SONDA DI UN OSCILLOSCOPIO

Circuito:

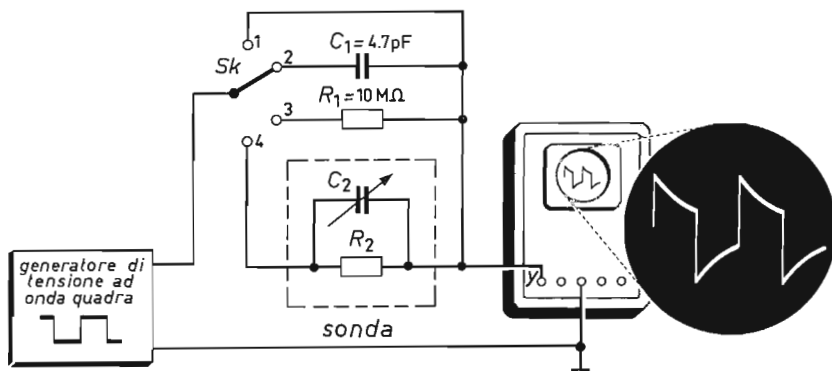



Fig. 71 *a* Fig. 71 *b*

Descrizione:

a) Si rende massima la tensione del generatore, con ritmo di ripetizione di 10 kHz e rapporto d'impulso 1 : 1. L'oggetto da esaminare può essere costituito ad esempio dalla sonda di un oscilloscopio. Si pone S_k sulla posizione 2.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano la velocità *X* e l'amplificazione *Y* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 71 *b*.

c) Si studi l'oscillogramma cercando di spiegare cosa si vede.

d) Si commuta S_k sulla posizione 3 e si confronti il nuovo oscillogramma con quello di *c*.

e) Si commuta S_k sulla posizione 4. Si regoli il condensatore variabile C_2 fino a che l'oscillogramma abbia la forma di un'onda quadra. Si determini l'attenuazione della sonda (a tale scopo si misuri l'altezza dell'oscillogramma con S_k sulle posizioni 1 e 4).

Spiegazione:

Nel punto *c* troviamo un oscillogramma con una forma simile a quella dell'esperimento 34; la resistenza di entrata del canale *Y* svolge evidentemente la funzione di *R* dell'esperimento 34. L'oscillogramma del punto *d* è simile a quello dell'esperimento 35; la capacità di entrata del canale *Y* svolge chiaramente la funzione di *C* dell'esperimento 35. Nel punto *c* si trova la pendenza in salita della tensione ad onda quadra dell'oscillogramma; nel punto *d* queste pendenze non vi sono. L'oscillogramma può quindi essere reso un'onda quadra applicando la tensione a onda quadra al canale *Y* tramite una opportuna combinazione di resistenza e capacità. Ora abbiamo a che fare con entrambi i circuiti del punto *c* e il circuito complementare del punto *d*. La sonda di un oscilloscopio contiene una simile combinazione *RC*. Regolando C_2 sul valore corretto, possiamo dare all'oscillogramma la forma della tensione applicata (punto *e*), Si ottiene allora una suddivisione di tensione nelle stesse proporzioni come se fossero operanti solo R_2 e la resistenza di entrata del canale *Y*. Se C_2 è troppo piccolo, avremo un circuito simile a quello del punto *d*, mentre se C_2 è troppo grande l'influenza misurata nel punto *c* predomina.

ESPERIMENTO 72: **MISURE SU UN CAVO COASSIALE**

Circuito:

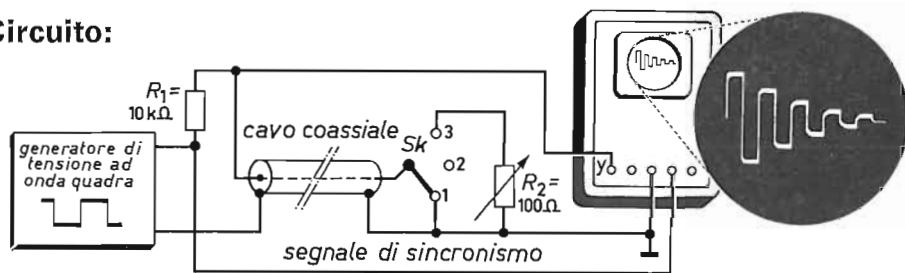



Fig. 72 *a*

Fig. 72 *a*

Descrizione:

a) Si regola il generatore di tensione su 10 V, la frequenza di ripetizione su 100 kHz e il rapporto d'impulso su 1 : 1, il commutatore S_k va posto sulla posizione 1. La lunghezza del cavo coassiale deve essere di 100 m e la sua impedenza caratteristica di 50, 60 o 75 Ω.

b) Si pone il canale *X* su « interno » e si sincronizza la base dei tempi esternamente con il generatore di tensione. Si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere sullo schermo un'onda quadra smorzata (Fig. 72 *b*).

c) Si misuri la distanza fra i successivi passaggi attraverso lo zero e la si converta in tempo. Si calcoli da ciò la velocità di propagazione del segnale nel cavo.

d) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si studi il risultante oscillogramma.

e) Si commuta S_k sulla posizione 3 e si regola R_2 fino a che la traccia abbia la forma di un'onda quadra. Si misuri il valore di R_2.

Spiegazione:

Quando si applica la corrente al cavo, essa circola progressivamente in esso, sicchè questo va sotto tensione su distanze progressivamente crescenti, in altri termini si propaga nel cavo un « fronte di energia ». Siccome la corrente non trova alcun ostacolo in un cortocircuito, mentre la tensione sul cortocircuito è zero, quando il cavo è cortocircuitato (S_k sulla posizione 1), la corrente viene riflessa con senso « positivo », e la tensione viene riflessa con senso negativo quando il fronte d'onda raggiunge l'estremità cortocircuitata del cavo. All'entrata avviene una seconda riflessione. Siccome essa è praticamente « aperta », avvengono riflessioni positive di tensione e negative di corrente. Il fronte d'onda continua a circolare su e giù lungo il cavo. L'oscillogramma (punto *b*) è perciò la somma di tensioni a onda quadra alternativamente negative e positive, ciascuna ritardata leggermente rispetto a quella precedente. Nel punto *d* queste onde quadre di tensione sono sempre positive dato che la riflessione di tensione è esclusivamente positiva; abbiamo quindi una traccia « a gradini ». Il fronte che passa attraverso il cavo diminuisce gradualmente a causa delle perdite; i salti di tensione nell'oscillogramma divengono quindi più piccoli in maniera regolare. La velocità di propagazione è il rapporto fra il doppio della lunghezza del cavo e il tempo di ritardo misurato nel punto *c*. Quando R_2 ha un certo valore (« impedenza d'onda ») esso assorbe tutta l'energia (punto *e*) e non si ha alcuna riflessione.

ESPERIMENTO 73: MISURE SU UNA LINEA BIFILARE

Circuito:

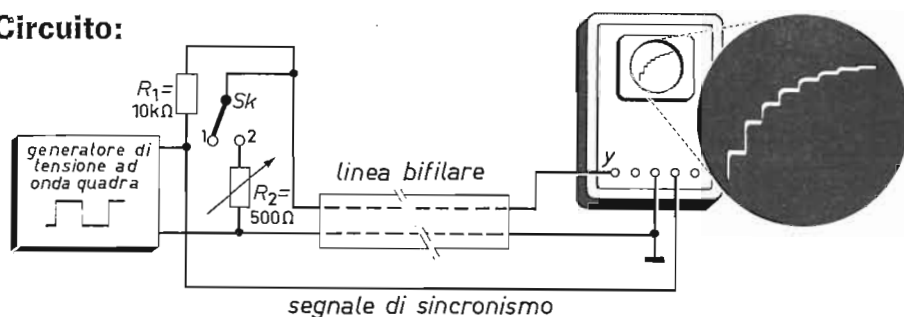



Fig. 73 *a* Fig. 73 *a*

Descrizione:

a) Si porta su 10 V la tensione del generatore, con frequenza di ripetizione di 100 kHz e rapporto di impulso di 1 : 1. Si pone S_k sulla posizione 1. La lunghezza della linea bifilare sia di 100 m e la sua impedenza caratteristica di 150 oppure 300 Ω (ad esempio, una linea per discesa di antenna TV).

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si sincronizzi la base dei tempi esternamente con la tensione del generatore. Si regola l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere una curva « a gradini » sullo schermo (Fig. 73 *b*).

c) Si studi l'oscillogramma. Si misuri l'altezza di due gradini successivi e si cerchi di trovare un'espressione per le perdite nella linea.

d) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si regola R_2 fino a che risulti visibile una tensione a onda quadra. Si confronti il valore di R_2 con l'impedenza caratteristica della linea.

Spiegazione:

La formazione di un campo magnetico (corrente elettrica), analogamente a quella di un campo elettrico (tensione), richiede un certo tempo. Questa è la ragione per cui il segnale da trasmettere si propaga con velocità finita (esperimento 72). I conduttori della linea presentano una certa resistenza alla corrente ed anche l'isolamento non è perfetto. Non tutta l'energia applicata all'entrata della linea apparirà all'altra estremità della linea stessa; vi è un certo smorzamento. Siccome entrambe le estremità della linea sono « aperte », si ha una riflessione di tensione « positiva » su entrambe le estremità » (punto *b*). L'oscillazione è allora la somma di numerose tensioni positive ad onda quadra, ciascuna leggermente spostata rispetto alla precedente. È questa la ragione della curva a gradini. La differenza fra due gradini successivi diminuisce man mano che si va verso l'alto della curva, per effetto dello sforzamento. Una misura di questo smorzamento è il rapporto fra due successivi salti di tensione. Se si regola R_2 sul corretto valore (punto *d*) solo la tensione ad onda quadra applicata all'entrata raggiunge l'uscita, dato che dopo una riflessione all'estremità della linea il segnale viene completamente assorbito da R_2 .

ESPERIMENTO 74: **SEGNALE MODULATO IN AMPIEZZA**

Circuito:

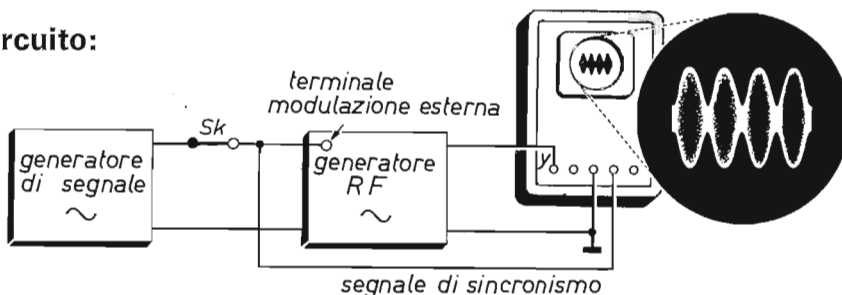



Fig. 74 *a* Fig. 74 *b*

Descrizione:

a) Si regola il generatore a RF su 500 kHz, sulla massima tensione di uscita, in posizione « *AM* ». La tensione AF sia a 1 kHz. Si apre l'interruttore S_k.

b) Si commuta il canale *X* su « interno » e si regola l'amplicazione *Y* fino ad ottenere la desiderata altezza di traccia. Si regola la velocità *X* fino ad ottenere successivamente 1, 2, 3 periodi di onda sinusoidale e infine una fascia luminosa.

c) Si chiude S_k e si regolano la tensione AF e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 74 *b.* Si sincronizza esternamente la base dei tempi con la tensione *AF.*

d) Si studi l'oscillogramma. Si misuri la massima e la minima altezza della traccia e si calcoli la profondità di modulazione del segnale modulato.

e) Si vari la frequenza e l'ampiezza del segnale AF e si osservino i risultati.

Spiegazione:

La tensione alternata prodotta dal generatore a RF è sinusoidale (punto *b*). Man mano che la velocità *X* viene diminuita, un numero sempre maggiore di onde apparirà sullo schermo; infine non si possono più distinguere le singole onde e tutte insieme verranno viste come una fascia luminosa la cui altezza corrisponde al doppio dell'ampiezza del segnale a RF. Se applichiamo l'uscita di un generatore di segnali ad AF al terminale di « modulazione esterna » del generatore a RF (punto *c*), quest'ultimo fornisce una tensione alternata la cui ampiezza varia corrispondentemente con la frequenza del segnale AF. Si dice allora che il segnale a RF (la « onda portante ») è modulato in ampiezza dal segnale ad AF. Un tale segnale modulato in ampiezza è emesso per prova dai trasmettitori AM quando ascoltiamo un tono continuo mediante un radioricevitore accordato su quel trasmettitore. L'altezza della nota sentita corrisponde al ritmo con cui varia l'ampiezza a RF e l'intensità della nota corrisponde alla variazione percentuale dell'ampiezza del segnale a RF (« profondità di modulazione »), che viene misurata nel punto *d.* La profondità di modulazione è data dalla differenza fra le ampiezze massima e minima, divisa per la loro somma.

ESPERIMENTO 75: **DEMODULAZIONE DI UN SEGNALE AM**

Circuito:

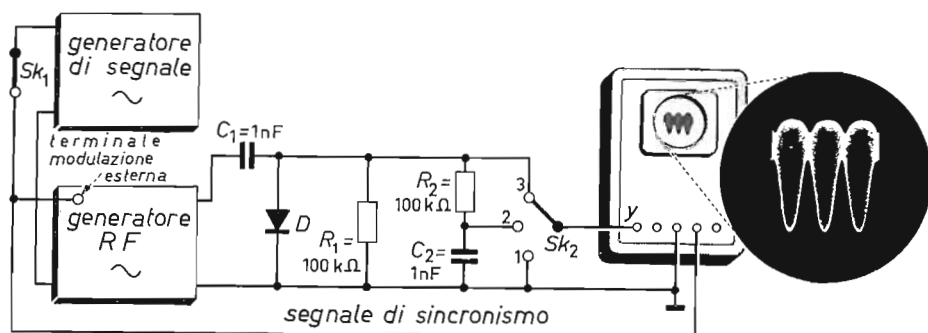



Fig. 75 *a* Fig. 75 *b*

Descrizione:

a) Si pone il generatore a RF su 500 kHz, con massima tensione di uscita e il commutatore su « *AM* ». Si pone la tensione ad AF su 1 kHz. Si apre S_{k1} e si commuta S_{k2} sulla posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* su « interno » e il canale *Y* su « *DC* ». Si regola la posizione *Y* fino ad osservare un oscillogramma di circa 2 cm al centro dello schermo.

c) Si commuta S_k sulla posizione 3 e si regolano l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere alcune onde sinusoidali fisse.

d) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si spieghi ciò che si vede.

e) Si chiude S_{k1} e si pone S_{k2} in posizione 3. Si regola la tensione AF e la velocità *X* fino ad ottenere una traccia la cui forma corrisponda a quella di Fig. 75 *b*. Si sincronizzi esternamente con la tensione a AF.

f) Si commuta S_k sulla posizione 2. Si determini la frequenza della tensione *Y*.

Spiegazione:

Il generatore a RF sviluppa una tensione alternata non modulata (punto *c*). Il diodo conduce molto meglio quando la tensione anodica è positiva rispetto a quando è negativa. La corrente nel diodo perciò carica C_1 ad una tensione che è praticamente uguale alla ampiezza della tensione a RF. Vi è quindi sul diodo una tensione variabile sinusoidalmente, il cui massimo giace immediatamente al di sopra del livello zero (punto *b*). C_2 allora si carica sul valore medio della tensione del diodo; la tensione *Y* (punto *d*) è quindi una tensione continua negativa. Occorre che tanto C_1 quanto C_2 assumano la maggior parte della loro carica in un tempo uguale al periodo del segnale a RF (2 μs). Osservato su un tempo molto più lungo (1 ms) C_1 si scarica tramite R_1 e C_2 tramite R_2. Se l'ampiezza del segnale a RF varia (per effetto della modulazione nel punto *e*) la tensione continua su C_1 e la tensione su C_2 variano. Il massimo della tensione del diodo rimane circa al livello zero; l'oscillogramma diviene perciò una tensione a RF modulata e « deformata ». Il diodo fissa i picchi della tensione a RF su circa zero (vedi esperimento 69). La tensione su C_2 è quindi una tensione continua variabile nel tempo con il segnale ad AF (punto *f*).

ESPERIMENTO 76: CONFRONTO DI FREQUENZA FRA DUE SEGNALI A RF

Circuito:

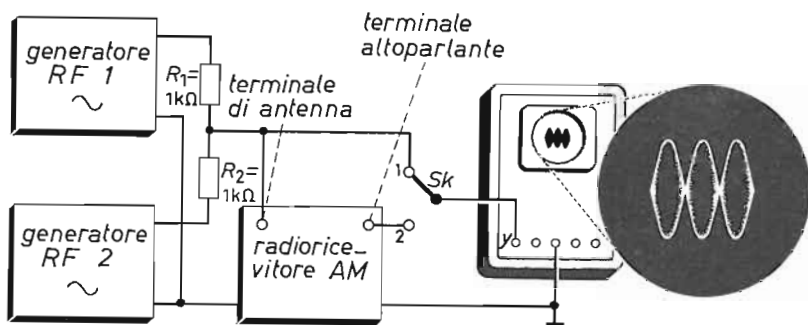



Fig. 76 *a* Fig. 76 *b*

Descrizione:

a) Si regoli la frequenza di entrambe le tensioni a RF su circa 200 kHz e si rendano le loro ampiezze circa uguali. Si pone il commutatore S_k sulla posizione 1.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolano la velocità *X* e l'amplificazione *Y* fino ad ottenere una traccia simile a quella di Fig. 76 *b*.

c) Si riduce notevolmente l'ampiezza di una delle due tensioni, sicchè l'inviluppo dell'oscillogramma risulti grossolonamente sinusoidale. Si regoli la frequenza dell'altra tensione fino a che il periodo dell'inviluppo sia di 0,5 ms.

d) Si commuta S_k sulla posizione 2. Si sincronizza un radioricevitore su 200 kHz e si regola il controllo di volume fino a sentire una nota. Si controlli se il periodo di questa nota è 0,5 ms.

e) Si varia una delle due frequenze; si osservino e si ascoltino i risultati.

Spiegazione:

La tensione nel punto comune di R_1 e R_2 (la media delle tensioni dei due generatori) ha un'ampiezza costante quando la frequenza di uno dei segnali a RF è esattamente uguale a quella dell'altra. In pratica, ciò non avviene mai; il segnale-somma è un battimento a RF (vedi esperimento 18). Se l'ampiezza di un segnale è ad esempio cinque volte quella dell'altro e la frequenza-differenza è piccola (ad es. 2 kHz) allora la tensione-somma è una tensione a RF la cui ampiezza varia grossolanamente in maniera sinusoidale con una frequenza uguale alla frequenza-differenza dei segnali a RF (punto *c*). La frequenza del segnale-somma varia alquanto, ma mediamente è uguale alla media delle frequenze dei due segnali. Se accordiamo il radioricevitore su questa frequenza (punto *d*), allora il segnale-somma dopo l'amplificazione è applicato ad un circuito (ad es. quello dell'esperimento 75) che trasforma le variazioni di ampiezza in una tensione continua variabile. La componente continua è bloccata da un condensatore e la componente alternata, amplificata, viene applicata all'altoparlante. Si udrà allora una nota la cui frequenza è uguale alla differenza di frequenza fra i due segnali a RF.

ESPERIMENTO 77: VELOCITÀ, ACCELERAZIONE E SPOSTAMENTO DI UN CORPO VIBRANTE

Circuito:

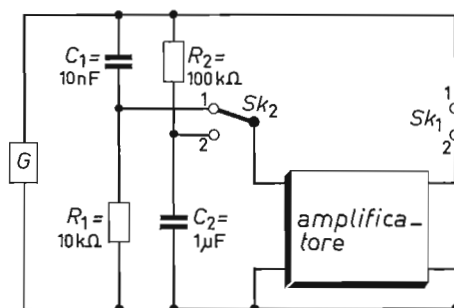
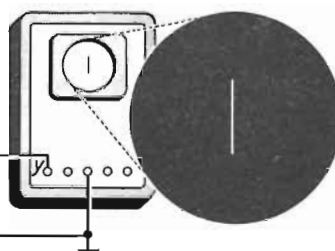



Fig. 77 *a* Fig. 77 *b*

Descrizione:

a) Si fissa un rivelatore di vibrazione *G* elettrodinamico o elettromagnetico per esempio alla macchina vibrante. La sensibilità del rivelatore sia di 10 V per m/s. I filtri sono calcolati per vibrazioni comprese fra 10 Hz e 200 Hz.

b) Si commuta il canale *X* su « esterno » ed S_{k1} sulla posizione 1. Si regola l'amplificazione *Y* fino a rendere visibile sullo schermo una linea verticale di lunghezza ragionevole (Fig. 77 *b*).

c) Si misura la lunghezza della linea e la si converta in tensione. Si determina così la massima velocità della vibrazione.

d) Si commuta S_{k1} sulla posizione 2, lasciando S_{k2} in posizione 1. Si misuri la lunghezza della traccia e si converta il risultato in tensione. Si determina così la massima accelerazione della vibrazione.

e) Si commuta S_{k2} sulla posizione 2. Si determina il massimo spostamento in base alla lunghezza della traccia in queste condizioni.

Spiegazione:

La tensione del rivelatore è proporzionale alla velocità di vibrazione. Con la sensibilità indicata nel punto *a*, la velocità in m/s si trova dividendo per 10 la tensione *Y* (S_{k1} sulla posizione 1) in volt (punto *c*). La tensione su R_1 è piccola in confronto con quella su C_1 per vibrazioni aventi frequenza minore di 200 Hz. La corrente nel circuito R_1 - C_1 (e quindi la tensione su R_1) è perciò praticamente proporzionale alla variazione della tensione per unità di tempo, ossia all'accelerazione. Con i valori usati per R_1 e C_1, l'accelerazione in m/s^2 è uguale alla tensione su R_1 in mV. Se l'amplificazione è nota, si può determinare l'accelerazione in base alla lunghezza della traccia (punto *d*). Per frequenze sopra i 10 Hz, la tensione su C_2 è piccola rispetto a quella su R_2. La corrente nel circuito R_2 - C_2 è proporzionale alla tensione del rivelatore. La tensione su C_2 (proporzionale al prodotto della corrente per il tempo) è quindi proporzionale al prodotto della tensione del rivelatore (velocità) per il tempo, ossia allo spostamento. Con i valori di R_2 e C_2 usati, lo spostamento in cm è uguale alla tensione su C_2 in volt. Se l'amplificazione è nota, si può determinare il massimo spostamento in base alla lunghezza della traccia (punto *e*).

ESPERIMENTO 78: **DETERMINAZIONE DEI NODI E VENTRI DI UNA CORDA VIBRANTE**

Circuito:

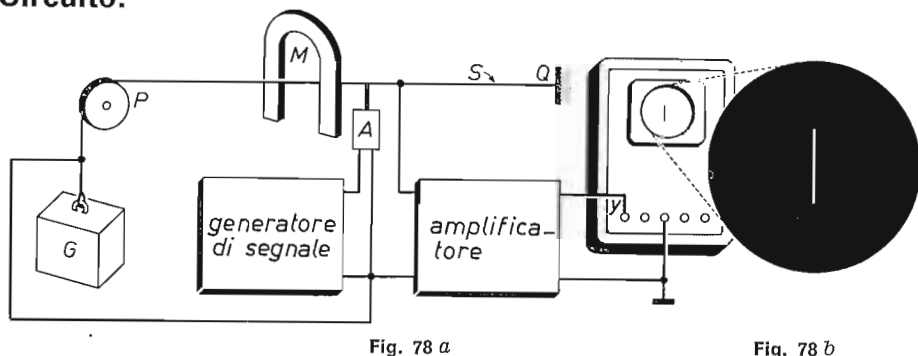



Fig. 78 *a* Fig. 78 *b*

Descrizione:

a) Il filo di acciaio *S* (1 mm di spessore, lunghezza *P* — *Q* = 50 cm) è fissato al punto *Q* ed è tenuto teso dal peso *G* di 25 kg. *S* può essere posto in vibrazione mediante il vibratore *A* collegato ad un opportuno generatore di segnale. Il filo può spostarsi liberamente fra i poli del magnete *M* (Fig. 78 *a*).

b) Si commuta il canale *X* su « esterno » e si regola la frequenza della tensione del generatore sul più basso valore per il quale l'altezza dell'oscillogramma (Fig. 78 *b*) sia massima; se necessario, si regoli l'amplificazione *Y*.

c) Si sposta *M* verso sinistra, verso destra, riportandolo poi nella sua posizione originaria; si prenda nota delle posizioni in cui l'altezza della traccia è massima o minima.

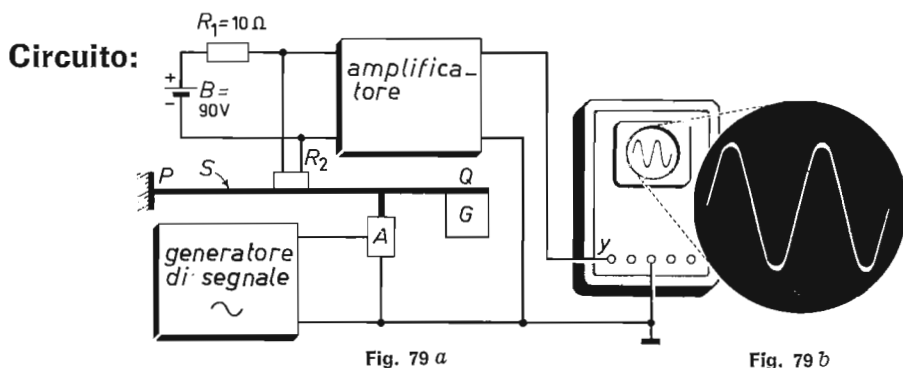
d) Si aumenta la frequenza fino a riottenere la vibrazione di *S* e si ripeta il punto *c*.

Spiegazione:

Il filo di acciaio vibra (con la frequenza fondamentale) quando la frequenza della corrente alternata applicata al vibratore ha un valore ben definito. Se la massa che tiene teso il filo è di 25 kg, la distanza *P-Q* di 50 cm e lo spessore del filo 1 mm, la frequenza fondamentale risulta di circa 200 Hz. I nodi sono allora posti in *P* e *Q* e i ventri a metà fra essi (vedi esperimento 14). Parte del filo è in un campo magnetico; se questa parte del filo vibra, si genera una forza elettromotrice (vedi esperimento 8); questa è maggiore quando il magnete è posto in corrispondenza del punto dove il filo vibra più fortemente. L'altezza della traccia è quindi massima quando il magnete è posto a metà fra *P* e *Q* (punto *c*). Se la frequenza della corrente alternata applicata al vibratore viene gradualmente aumentata (punto *d*) il filo entrerà in vibrazione quando la frequenza della corrente alternata è un multiplo intero della frequenza fondamentale. Per esempio, se si usa una corrente alternata di frequenza doppia della fondamentale, si troverà un nodo a metà fra *P* e *Q*, e ponendo il magnete in tale punto la forza elettromotrice indotta (ossia l'altezza dell'oscillogramma) risulta minima.

ESPERIMENTO 79: **MISURE CON L'ESTENSIMETRO**

Circuito:

Fig. 79 *a* Fig. 79 *b*

Descrizione:

a) La molla orizzontale *S* (100 x 10 x 1 mm) è fissata in *P* e caricata in *Q* con una massa *G* di 200 g. Si vuol determinare la depressione della molla in *Q*.

b) L'estensimetro R_2 è fissato ad *S* alla maniera normale, ed *S* è posto in vibrazione verticale dal vibratore *A*.

c) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regola la frequenza del generatore intorno a 16 Hz, fino a ottenere la massima altezza della traccia.

d) Si regolano la velocità *X* e l'amplificazione *Y* dell'oscilloscopio fino a che la traccia abbia la forma mostrata in Fig. 79 *b*. Si misuri il periodo della oscillazione.

e) Si riduce *G* ad esempio a 100 g e si ripetono i precedenti punti.

f) Si ripetano i punti *a, b, c* e *d*, con la molla fissata più vicino a *Q*.

Spiegazione:

La molla caricata è posta in vibrazione dal vibratore. Lo strato superficiale della molla pertanto si espande e si contrae nel tempo conformemente con la vibrazione. L'estensimetro mostra questa espansione e contrazione dando luogo a variazioni di resistenza elettrica. Queste sono trasformate in variazioni di tensione mediante la batteria e R_1, e vengono applicate al canale *Y*. La frequenza naturale (vedi esperimento 13) dipende dalla forza di ripristino (elastica) che è proporzionale alla deviazione dalla posizione di equilibrio. Si trova che il quadrato del periodo, in secondi, è uguale a quattro volte la depressione in metri, misurata nel punto *a*. Per esempio, se l'estremità della molla subisce una depressione massima di 1 mm, il periodo di vibrazione è di circa 0,063 s e la frequenza naturale della molla caricata è allora $1 : 0{,}063 = 16$ Hz. Quando la molla è caricata con metà del peso originario (punto *e*) lo spostamento della molla a parità di lunghezza viene anch'esso dimezzato. La frequenza naturale allora aumenta di un fattore $\sqrt{2}$. Se la depressione (punto *a*) è troppo piccola per poter essere misurata con precisione, si può temporaneamente sostituire la massa con una *n* volte maggiore, in modo da rendere la depressione più facilmente misurabile. Si può allora ritenere che la depressione con la massa originaria sarebbe stata $1/n$ di questa. Nel punto *f* la frequenza naturale viene aumentata, dato che la molla si piega di meno a parità di carico.

ESPERIMENTO 80: SEMPLICE GENERATORE DI DENTI DI SEGA

Circuito:

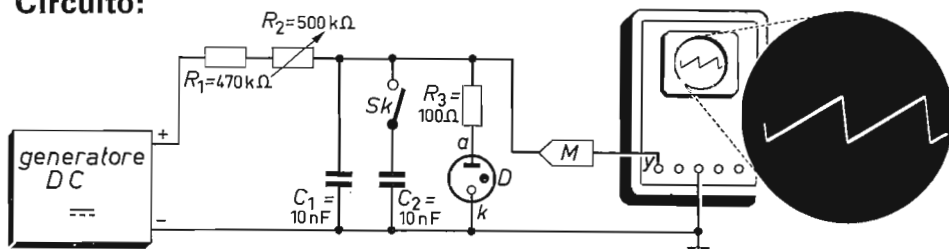



Fig. 80 *a* Fig. 80 *b*

Descrizione:

a) Il diodo a gas serve come stabilizzatore di tensione. Si annulla la tensione del generatore; si apre S_k e si rende massimo R_2. Si usi la sonda *P* fra il canale *Y* e il punto dove si effettua la misura.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si aumenta gradualmente la tensione continua fino ad ottenere una traccia periodica visibile sullo schermo (il diodo allora innesca). Si regolano la velocità *X* e l'amplificazione *Y* fino a ottenere l'oscillogramma a dente di sega.

c) Si misura l'altezza dell'oscillogramma e si determini la corrispondente tensione.

d) Si diminuisce R_2, aumentando la tensione del generatore e si chiuda S_k; si osservino le variazioni nell'oscillogramma.

Spiegazione:

La caratteristica dell'esperimento 30 mostra che praticamente non circola alcuna corrente nel diodo quando il tubo è interdetto e che la tensione di innesco è più alta della tensione di regime e della tensione di estinzione. Il condensatore C_1 ha tendenza a caricarsi tramite R_1 e R_2 alla tensione del generatore. La tensione *Y* pertanto aumenta gradualmente fino a raggiungere la tensione di innesco del diodo a gas. Il diodo allora innesca e si autoregola sulla (più bassa) tensione di regime. La corrente nel diodo è limitata da una bassa resistenza ed è quindi alta. La tensione *X* perciò cadrà rapidamente e raggiungerà subito la tensione di estinzione del tubo; a questo punto la scarica cessa. Il condensatore allora si ricarica, il tubo si innesca e così via (punto *b*). Siccome il condensatore si carica tramite una grande resistenza e si scarica tramite una resistenza piccola, la tensione *Y* aumenta lentamente e diminuisce rapidamente. L'altezza dell'oscillogramma a dente di sega dipende solo dalla differenza fra le tensioni di innesco e di estinzione (punto *c*). Se R_2 è più piccolo, il condensatore si carica più rapidamente (punto *d*); se viene aggiunto C_2 nel circuito, il processo di carica risulta rallentato. La parte ascendente dell'oscillogramma diviene rispettivamente più corta e più lunga. Se la tensione applicata è più alta, aumenterà pure la corrente di carica; il tempo di carica allora diminuisce e la frequenza del dente di sega aumenta.

ESPERIMENTO 81: **DIFFERENZA DI FASE FRA DUE TENSIONI SINUSOIDALI**

Circuito:

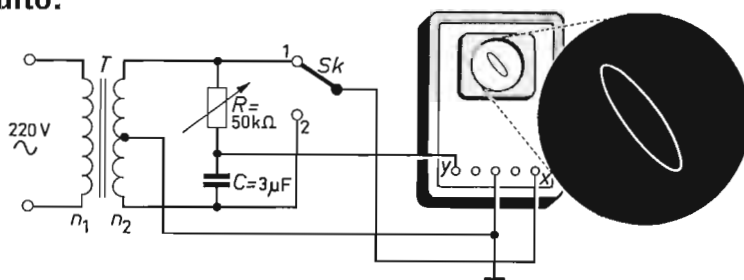



Fig. 81 *a* Fig. 81 *b*

Descrizione:

a) Il trasformatore di rete T ha un rapporto di trasformazione $n_1 : n_2 \approx \approx 30 : 1$ (si usa ad esempio un trasformatore di accensione dei filamenti di un radioricevitore, con presa centrale). Si regola la resistenza R al suo massimo valore e si commuta S_k sulla posizione 1.

b) Si pone il canale X su « esterno » e si regolano le amplificazioni X e Y fino ad ottenere sullo schermo una traccia sufficientemente grande.

c) Si regola R fino a che la deflessione Y nel centro sia metà della massima deflessione Y (Fig. 81 *b*). Si determini ora la differenza di fase fra le tensioni X e Y.

d) Si scelgono alcuni altri valori di Y e si determina la differenza di fase per ognuno di essi.

e) Si commuta S_k sulla posizione 2 e si ripetono i punti *c* e *d*. Si confrontino gli oscillogrammi e i valori della differenza di fase misurati con quelli trovati con S_k sulla posizione 1.

Spiegazione:

Quando R è zero (con S_k sulla posizione 1) le tensioni X e Y sono uguali; la traccia è una retta che va da destra in alto a sinistra in basso. Quando R è massimo, per effetto della relativamente bassa impedenza del condensatore si ha che la tensione Y è quasi tanto « positiva » quanto la tensione X è negativa. Allora vedremo quasi una retta da sinistra in alto a destra in basso (esperimento 23). La tensione Y è allora regolata, rispetto alla tensione X, da concordanza di fase ad opposizione di fase (antifase), mediante R. Se l'oscillogramma è inclinato verso destra, la differenza di fase è meno di 1/4 di periodo; se è inclinato verso sinistra è più di 1/4 di periodo. La differenza di fase per un arbitrario valore di R può essere determinata misurando la massima deflessione Y e la deflessione Y nel punto in cui la deflessione X è zero. Se nel centro (deflessione X zero) il rapporto di queste due quantità è n, allora la differenza di fase può essere trovata mediante una tabella (numerica o grafica) che indichi quando un'onda sinusoidale raggiunge la n^a parte della sua ampiezza massima. Per esempio, quando la deflessione Y al centro è metà del massimo (punto *c*), la differenza di fase fra le tensioni X e Y è 1/12 oppure 5/12 di periodo (1/12 se la pendenza dell'oscillogramma è verso destra, 5/12 se è verso sinistra), dato che $\text{sen}\, 1/12 = \text{sen}\, 5/12 = 1/2$.

ESPERIMENTO 82: **MISURE DI POTENZA ALTERNATA**

Circuito:

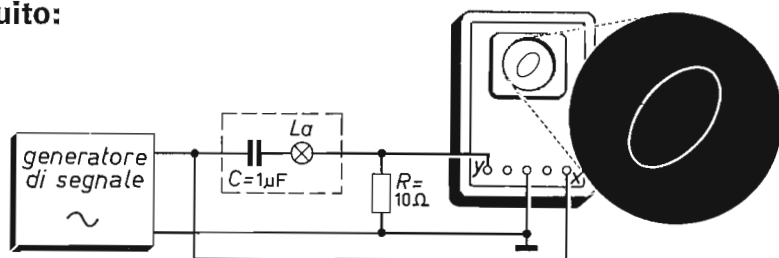



Fig. 82 *a* Fig. 82 *b*

Descrizione:

a) Si rende la tensione del generatore uguale alla tensione di lavoro di una lampadina per fanalino posteriore di bicicletta L_a e si regola la frequenza fino a che L_a si accenda appena. L_a in combinazione con il condensatore C costituisce una sorgente luminosa dipendente dalla frequenza.

b) Si commuta il canale X dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le amplificazioni X e Y fino a rendere visibile un oscillogramma ellittico (Fig. 82 *b*).

c) Si misura la massima deflessione orizzontale e la corrispondente deflessione verticale; si convertano questi risultati rispettivamente in tensione e corrente. Con questi dati si calcoli la potenza fornita a $C + L_a$.

d) Si riduce la frequenza fino a che L_a non si accenda più e si ripete il punto *c.*

e) Si aumenta la frequenza fino a che L_a si accenda normalmente e si ripeta il punto *c.*

Spiegazione:

La potenza elettrica è il prodotto medio della tensione per la corrente. La « potenza *AC* » è pertanto proporzionale alle ampiezze della corrente e della tensione e dipende della differenza di fase. Queste quantità sono tutte rappresentate nell'oscillogramma che quindi è in grado di dare una certa informazione sulla potenza in esame. La potenza da determinare (punto *c*) è uguale a metà del prodotto della massima deflessione X (ampiezza della tensione) per la corrispondente deflessione Y (parte dell'ampiezza della corrente). La deflessione Y comprende l'ampiezza della corrente oltre che la differenza di fase.

Quando la differenza di fase è quasi 1/4 di periodo (frequenze molto basse) l'oscillogramma è un cerchio o un'ellisse verticale. La massima deflessione X allora corrisponde alla deflessione Y zero e il consumo di potenza è quindi zero: la lampada è spenta (punto *e*). Se la differenza di fase è per esempio 1/6 di periodo, la massima deflessione X corrisponde a metà della massima deflessione Y, e il consumo di potenza è un quarto del prodotto delle impiezze della corrente e della tensione.

ESPERIMENTO 83: MISURE DI FREQUENZA CON LE FIGURE DI LISSAJOUS

Circuito:

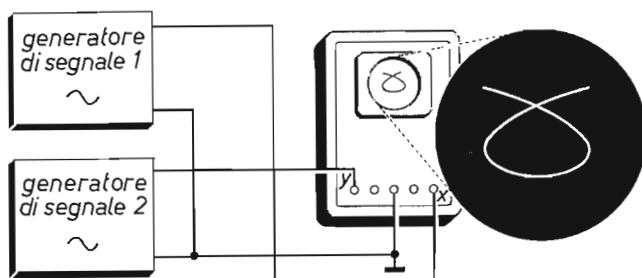



Fig. 83 *a* Fig. 83 *b*

Descrizione:

a) Si regolano le tensioni dei due generatori su circa 10 V e le frequenze su circa 100 Hz.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere deflessioni *X* e *Y* circa uguali e sufficientemente grandi.

c) Si varia la frequenza del segnale 1 (f_1) intorno a 100 Hz fino a ottenere una traccia fissa rettilinea, ellittica o circolare.

d) Si regola la frequenza del segnale 2 (f_2) su valori più alti o più bassi rispetto a 100 Hz, in modo che l'oscillogramma contenga successivamente 2, 3, 4, 5 anelli l'uno sopra l'altro o l'uno vicino all'altro. Si determini il rapporto $f_1 : f_2$ per entrambi i casi.

e) Si regola f_1 fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. *83 b* e si determini f_1/f_2.

f) Si renda il rapporto $f_1 : f_2$ successivamente 3/2, 3/4 e 5/3.

Spiegazione:

Nel punto *c* il pennello elettronico va su e giù ogni volta che esso va da un lato all'altro dello schermo, dato che le frequenze dei segnali *X* e *Y* sono le stesse. Il numero dei punti di intersezione con l'asse *X* (oppure con qualunque altra linea orizzontale tracciata in modo da tagliare l'oscillogramma) è uguale al numero di intersezioni con l'asse *Y* (oppure con qualunque altra linea verticale che tagli l'oscillogramma). La forma della traccia dipende dalla relazione di fase (posizione nel tempo) dei segnali *X* e *Y* (vedi esperimento 81). Il rapporto di frequenze, da determinare nel punto *d*, si trova dividendo il numero dei punti di intersezione dell'oscillogramma con una arbitraria linea verticale per il numero dei punti di intersezione con un'arbitraria linea orizzontale. Per esempio, con l'oscillogramma del punto *e*, una linea verticale taglia l'oscillogramma tre volte e una linea orizzontale solo due volte. La frequenza della tensione *X* è quindi 1 ½ volte quella della tensione *Y*. Il picco positivo della tensione *Y* coincide alternativamente con un picco positivo e con un picco negativo della tensione *X* (i due punti più alti della figura). Il picco negativo della tensione *Y* corrisponde alla tensione *X* zero (punto più basso dell'oscillogramma).

ESPERIMENTO 84: DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DI UN MOTORE

Circuito:

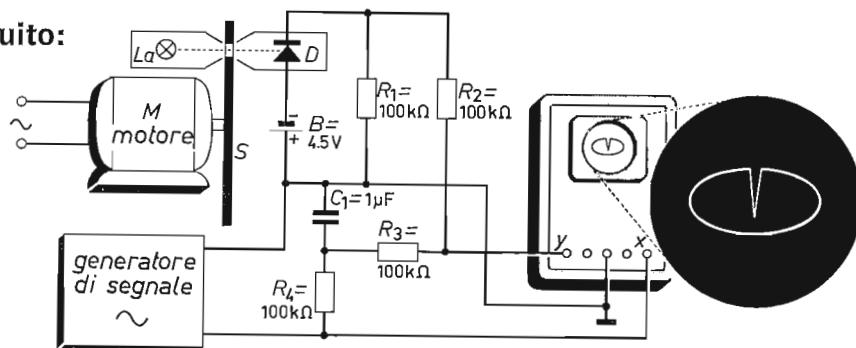



Fig. 84 *a* Fig. 84 *b*

Descrizione:

a) Un disco opaco *S* con un foro è montato sull'alberino del motore *M*. Un pennello luminoso passa dalla sorgente luminosa *La* attraverso il foro di *S* per raggiungere un fotodiodo *D*. Si renda massima la tensione del generatore e si faccia in modo che la sua frequenza sia grossolanamente uguale alla velocità del motore.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia ellittica.

c) Si fa ruotare il motore e si regoli la frequenza del generatore fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. 84 *b*. Si prenda nota del valore della frequenza. Se la velocità da misurare è minore della frequenza minima che il generatore può fornire, si esegua un altro foro in *S* in posizione diametralmente opposta al primo.

Spiegazione:

Anche alle più basse frequenze possibili, la tensione sul condensatore è sfasata rispetto alla tensione del generatore. La tensione sul condensatore è applicata, tramite R_3, al canale *Y*, mentre la tensione del generatore è applicata al canale *X*. Si ottiene così una ellisse sullo schermo, che viene descritta dal pennello elettronico una volta per periodo. La combinazione batteria, diodo, R_1 costituisce un trasduttore luminoso con risposta quasi immediata. Quando è illuminato, il diodo fa passare una sensibile corrente inversa; quando non è illuminato questa corrente è nulla. Nel primo caso vi è una caduta di tensione su R_1, nel secondo caso tale tensione è nulla. Il canale *Y* riceve perciò non solo la tensione del condensatore, ma anche un impulso negativo di tensione ogni volta che il foro del disco si affaccia alla lampada. Se la velocità angolare del disco corrisponde alla pulsazione del generatore, ogni foro del disco produce un avvallamento nell'oscillogramma. Se la frequenza del generatore è regolata in modo che l'oscillogramma abbia un solo avvallamento stabile, allora la velocità del motore corrisponde alla frequenza del generatore divisa per il numero dei fori (i fori debbono essere distribuiti uniformemente sulla circonferenza del disco).

ESPERIMENTO 85: MISURE DI FREQUENZA MEDIANTE MODULAZIONE DI LUMINOSITÀ (asse zeta)

Circuito:

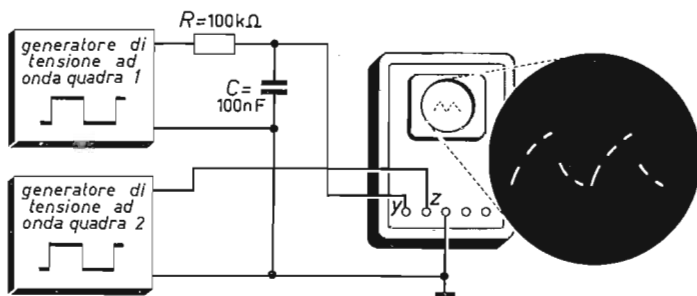



Fig. 85 *a* Fig. 85 *b*

Descrizione:

a) Si renda massima la tensione del generatore con un rapporto di impulso 1 : 1. Si regola la frequenza f_1 su 40 Hz e f_2 su 200 Hz.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno » e si regolino l'amplificazione *Y* e la velocità *X* fino ad ottenere la traccia di Fig. 85 *b*. Si riduce la luminosità della traccia fino a rendere visibile chiaramente la modulazione e si varia f_2 lentamente fino a rendere stabili gli elementi di immagine (vedi Fig. 85 *b*).

c) Si determini il numero di elementi di immagine per periodo e quindi f_2/f_1.

d) Si regola f_2 fino a rendere visibili 10 elementi di immagine per periodo.

e) Si varia f_1 fino a rendere visibili 8,5 elementi di immagine per periodo.

f) Si varia il rapporto di impulso della tensione 2 e si osservino i risultati.

Spiegazione:

Mentre la tensione del generatore 1 è al suo livello massimo, la tensione sul condensatore (tensione *Y*) aumenta, mentre quando è al livello minimo la tensione sul condensatore diminuisce. Un ciclo completo di aumento e diminuzione della tensione *Y* corrisponde a un periodo della tensione del generatore (esperimento 35). L'oscillogramma completo viene così tracciato in due periodi, sotto forma di 10 segmenti rettilinei luminosi separati da 10 segmenti meno luminosi. Una coppia di segmenti luminosi e meno luminosi avviene in un quinto del periodo della variazione della tensione *Y*, ossia la frequenza di modulazione di luminosità della traccia è cinque volte la frequenza della tensione *Y* (punto *c*). La modulazione di luminosità è realizzata dalla tensione applicata al canale *X*; questa tensione (dal generatore 2) interdice periodicamente il pennello elettronico. Contando il numero di segmenti luminosi e meno luminosi (elementi di immagine) possiamo così determinare la frequenza della tensione *Y*, se quella della tensione *Z* è nota, e viceversa. La frequenza della tensione *Z* è uguale al prodotto del numero di elementi di immagine per periodo per la frequenza della tensione *Y*.

ESPERIMENTO 86: ANTICIPO E RITARDO DI FASE DELLA TENSIONE X RISPETTO ALLA TENSIONE Y

Circuito:

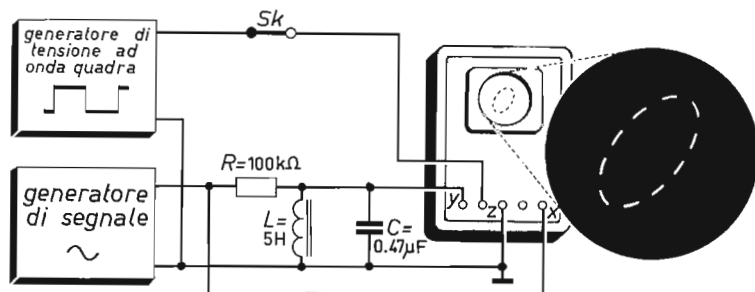



Fig. 86 *a*　　　　Fig. 86 *b*

Descrizione:

a) Si porta al massimo la tensione di entrambi i generatori. Si regola la frequenza della tensione sinusoidale (f_1) su 50 Hz e quella della tensione ad onda quadra (f_2) su 500 Hz. Il rapporto di impulso deve essere 1 : 1. Si apre l'interruttore S_k.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino a rendere visibile una ellisse di dimensioni sufficienti. Si riduca la luminosità di questa traccia fino a renderla appena visibile.

c) Si chiude S_k e si varia f_2 nell'intorno di 500 Hz fino a che le parti luminose della traccia risultino fisse (Fig. 86 *b*). Si riduca alquanto f_2 e si osservi il risultato.

d) Si regola f_1 su 200 Hz e si rendono fisse le parti luminose della traccia mediante la regolazione di f_2. Successivamente si diminuisca f_2 e si confronti il risultato con quello di *c*.

Spiegazione:

L'ellisse è inclinata a destra e ciò significa che la differenza di fase fra le tensioni *X* e *Y* è meno di un quarto di periodo (esperimento 81). Se la tensione *Y* ha un ritardo di fase, allora essa diventa zero entro un quarto di periodo da quando diventa zero la tensione *X*: la traccia taglia l'asse *X* entro un quarto di periodo dopo di aver tagliato l'asse *Y*; l'oscillogramma è allora descritto in senso antiorario. Esso viene descritto in senso orario quando viene tagliato prima l'asse *X* e poi, entro un quarto di periodo, l'asse *Y*, ossia quando la tensione *Y* è in anticipo di fase rispetto alla tensione *X*. La direzione in cui l'oscillogramma viene tracciato (ritardo o anticipo di fase) viene determinata mediante la modulazione *Z*. Partendo dallo stato in cui le interruzioni nella traccia sono fisse (una data interruzione avviene esattamente nello stesso posto per ogni giro) si riduce molto lentamente la frequenza della tensione *Z* (punti *c* e *d*). Le interruzioni allora si susseguono alquanto più lentamente, sicchè il pennello elettronico descrive più di un oscillogramma completo prima di ritornare alla stessa interruzione. In altri termini, quando la frequenza *Z* viene ridotta, le interruzioni si spostano nella stessa direzione del pennello elettronico che descrive la traccia, ossia in senso orario quando la tensione *Y* è in anticipo di fase (punto *c*) e in senso antiorario quando la tensione *Y* è in ritardo di fase (punto *d*).

ESPERIMENTO 87: IRREGOLARITÀ DI MOVIMENTO IN UN ALBERINO ROTANTE

Circuito:

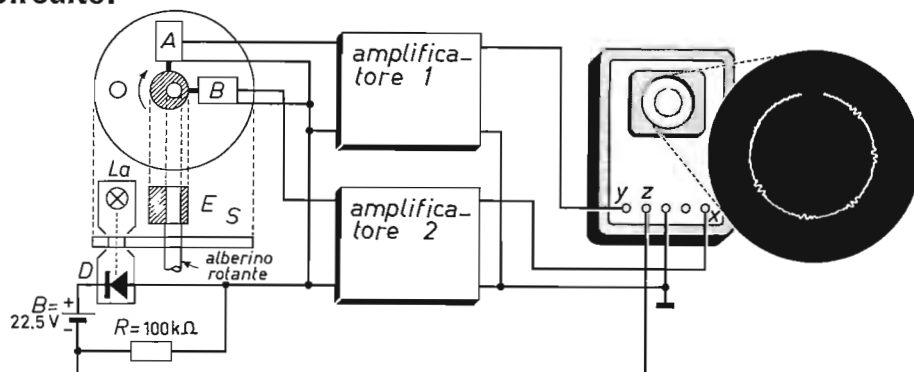



Fig. 87 *a*

Fig. 87 *b*

Descrizione:

a) Sull'alberino rotante sono montati una boccola eccentrica *E* e un disco opaco *S*. In contatto con *E* sono montati due rivelatori di vibrazione *A* e *B*, perpendicolarmente fra loro. La sorgente luminosa *La* fa passare il pennello luminoso attraverso il foro di *S* sul fotodiodo *D*.

b) Si commuta il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno » e si regolano le posizioni *X* e *Y* fino a ottenere al centro dello schermo un puntino luminoso.

c) Si pone in moto il motore e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere sufficienti deflessioni *X* e *Y* (vedi Fig. 87 *b*). Si riduca la luminosità della traccia fino a mettere in evidenza una porzione oscura nell'oscillogramma.

d) Si sposta di 90° la boccola *E* rispetto a *S* e si osservi il risultato.

Spiegazione:

La boccola *E* è montata eccentricamente sull'alberino per simulare l'ondulazione (wobble). Se l'alberino ruota in senso orario come indicato dalla freccia di Fig. 87 *a*, allora dapprima la tensione *Y* e, dopo un quarto di periodo, la tensione *X* diviene massima. L'oscillogramma perciò è una curva chiusa, descritta nel senso orario. Analogamente, l'oscillogramma è descritto in senso antiorario se l'alberino ruota in senso antiorario. Ad ogni rivoluzione, il canale *Z* riceve un impulso (corrispondente all'affacciarsi del foro del disco davanti alla lampada); parte dell'oscillogramma viene così eliminata. Nell'apparecchiatura indicata, questa interruzione avviene quando il « tastatore » del rivelatore *A* è nella posizione media, mentre quello del rivelatore *B* ha la minima depressione. La tensione *Y* è allora massima e la tensione *X* è zero. In altri termini, l'interruzione è posta in alto nell'oscillogramma; quando la boccola eccentrica viene ruotata, ad esempio in senso orario, di 90° rispetto al disco (punto *d*), allora se l'alberino ruota in senso orario, l'impulso *Z* avviene un quarto di periodo dopo rispetto alle tensioni *X* e *Y*, mentre se l'alberino ruota in senso antiorario avviene un quarto di periodo prima. In entrambi i casi, l'interruzione dell'oscillogramma ruota dello stesso angolo di cui ruota la boccola.

ESPERIMENTO 88: ANDAMENTO DELLA CARATTERISTICA I_a-V_{gk} DI UN TUBO ELETTRONICO

Circuito:

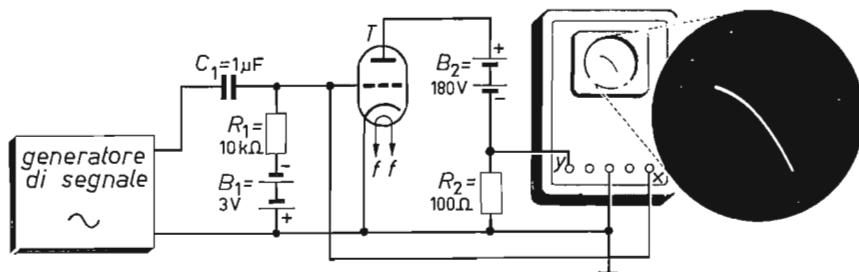



Fig. 88 *a* Fig. 88 *b*

Descrizione:

a) Il triodo in esame ha $R_i \approx 10\,\mathrm{k\Omega}$ e $\mu \approx 50$. Il filamento *f–f* è alimentato alla sua tensione nominale. La frequenza del generatore è regolata su 1 kHz e la tensione di uscita è momentaneamente zero.

b) Si commuti il canale *X* su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « *DC* ». Mediante i comandi di posizione *X* e *Y* si porta il puntino luminoso al centro dello schermo.

c) Si regola l'ampiezza del generatore di tensione su 2 V e si regolino le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere la traccia di Fig. 88 *b.*

d) Si interrompe la connessione dapprima al terminale *X* e poi al terminale *Y* e si segnino gli assi *X* e *Y*.

e) Si determinano il numero di ampere per unità di deflessione verticale e il numero di volt per unità di deflessione orizzontale. Si calcoli da ciò la transconduttanza del triodo nel punto di lavoro.

Spiegazione:

La tensione *Y* (tensione su R_2) è proporzionale alla corrente anodica. La corrente nel tubo circola solo da anodo a catodo; la tensione *Y* è quindi sempre negativa. La tensione *X* è la tensione di griglia. L'oscillogramma (punto *c*) fornisce la relazione fra tensione di griglia e corrente anodica con tensione anodica praticamente costante (la tensione *Y* è bassa in confronto con quella di B_2). Quando la componente alternata della tensione di griglia è zero, la griglia è a —3 V, che corrisponde a un certo valore della tensione *Y*. Il puntino luminoso (punto *b*) non rappresenterà l'origine del sistema di coordinate, ma un punto (il punto di lavoro) sulla curva da descrivere. Gli assi *X* e *Y* del sistema di coordinate vengono segnati distaccando i collegamenti rispettivamente agli amplificatori *Y* e *X* (punto *d*). La tensione di griglia varia tra —1 e —5 V (rispettivamente estremo destro e estremo sinistro dell'oscillogramma). Si vede così che la corrente anodica diviene più piccola quando la tensione di griglia è resa più negativa. La transconduttanza, di cui si tratta nel punto *e*, è il rapporto fra una piccola variazione della corrente anodica e la corrispondente variazione nella tensione di griglia (ossia è la pendenza della curva); essa dipende dal punto considerato, dato che l'oscillogramma non è una retta.

ESPERIMENTO 89: CARATTERISTICHE I_a-V_{ak} DI UN TUBO ELETTRONICO PER DUE VALORI DI V_{gk}

Circuito:

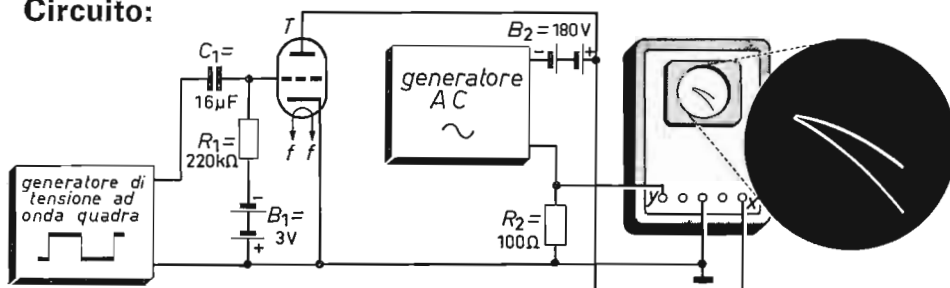



Fig. 89 *a* Fig. 89 *b*

Descrizione:

a) Il triodo *T* è lo stesso di quello usato nell'esperimento 88. Il filamento *f-f* è alimentato alla sua tensione nominale. Il generatore di tensione alternata è un trasformatore variabile di rete; la frequenza della tensione a onda quadra è di 25 Hz. Si portano a zero entrambe le tensioni.

b) Si commuta il canale *X* su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « *DC* » Si porta il puntino luminoso al centro dello schermo mediante i comandi di posizione *X* e *Y*.

c) Si porta a 150 V l'ampiezza della tensione sinusoidale e si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia di sufficiente larghezza.

d) Si distacca dapprima il terminale *X* e poi il terminale *Y*. Si traccino gli assi *X* e *Y*.

e) Si determina la R_i del triodo *T* in base all'oscillogramma del punto *c*.

f) Si regola l'ampiezza della tensione a onda quadra su 2 V e si osservi il risultato (Fig. 89 *b*).

Spiegazione:

Siccome l'ampiezza della tensione alternata è di 150 V e la tensione della batteria è 180 V, la tensione anodica (tensione *X*) varia da 30 a 330 V. La tensione *Y* (che è sempre negativa) è proporzionale alla corrente anodica. L'oscillogramma (punto *c*) fornisce quindi la relazione tra corrente anodica e tensione anodica del tubo elettronico alla tensione di griglia di —3 V. Gli assi *X* e *Y* del sistema di coordinate nel quale il grafico viene tracciato si trovano distaccando i collegamenti rispettivamente agli amplificatori *Y* e *X* (punto *d*). Si constata che la corrente anodica aumenta con la tensione anodica. La resistenza interna R_i del tubo (punto *e*) è il rapporto fra una piccola variazione della tensione anodica e la corrispondente variazione della corrente anodica. A causa della curvatura della caratteristica, la resistenza interna dipende dal punto considerato. Nel punto *f* la tensione di griglia è —1 V (quando la tensione ad onda quadra è massima), oppure —5 V (quando la tensione ad onda quadra è minima). L'oscillogramma allora mostra la caratteristica corrente anodica-tensione anodica per tensione di griglia —1 V (curva inferiore) e —5 V (curva superiore).

ESPERIMENTO 90: CARATTERISTICA I_C-I_B DI UN TRANSISTORE

Circuito:

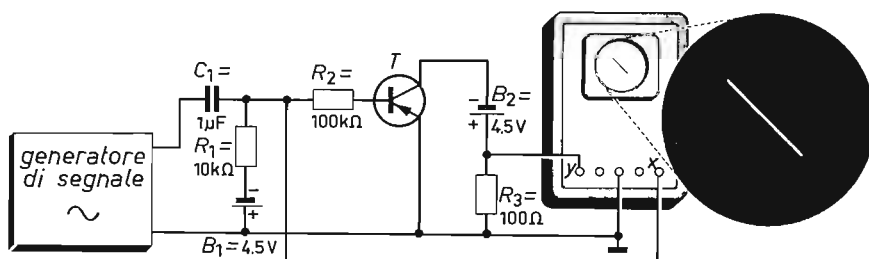



Fig. 90 *a* Fig. 90 *b*

Descrizione:

a) Il transistore usato è di un tipo normale per bassa frequenza. Il generatore di segnale viene regolato su 1 kHz con tensione di uscita zero.

b) Si commuta il canale *X* su «esterno» e i canali *X* e *Y* su «*DC*». Si porta il puntino luminoso al centro dello schermo mediante i comandi di posizione *X* e *Y*.

c) Si porta l'ampiezza della tensione del generatore su 4 V. Si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere la traccia di Fig. 90 *b*.

d) Si distaccano uno alla volta i terminali *X* e *Y*; si traccino gli assi *X* e *Y*.

e) Si determina il numero di ampere per centimetro di deflessione nella direzione orizzontale e verticale e si calcoli da ciò il fattore di amplificazione di corrente del transistore.

f) Si aumenta la tensione del generatore e si osservino i risultati.

Spiegazione:

La tensione *X* ha una componente continua negativa (grossolanamente uguale alla tensione di B_1), e una componente alternata fornita dal generatore di segnali. La tensione *X* varia quindi da circa zero a circa 8 V. La corrente di base (corrente attraverso R_2) è praticamente proporzionale alla tensione *X* e varia da zero (estremità destra della traccia) a 8 µA (estremità sinistra della traccia). L'asse *Y* del sistema è quindi tutto a destra sullo schermo (punto *d*) mentre l'asse *X* è in basso.

La tensione *Y* è sempre positiva e la tensione *X* è negativa. La tensione Y è proporzionale alla corrente che attraversa R_3 (corrente di collettore). L'oscillogramma allora mostra la corrente di collettore in funzione della corrente di base (per un valore praticamente costante di tensione di collettore). La traccia è praticamente lineare e passa per l'origine. La corrente di collettore è perciò approssimativamente proporzionale alla corrente di base. Il fattore di amplificazione di corrente (punto *e*) è il rapporto fra una variazione della corrente di collettore e la variazione della corrente di base che la provoca (con tensione costante di collettore), ossia è la pendenza dell'oscillogramma.

ESPERIMENTO 91: CARATTERISTICA I_C-I_{CE} DI UN TRANSISTORE PER DUE VALORI DI I_B

Circuito:

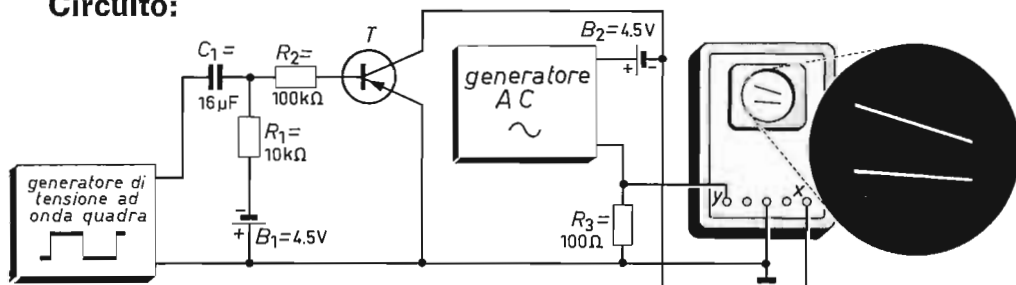



Fig. 91 *a* Fig. 91 *b*

Descrizione:

a) *T* è un normale transistore per bassa frequenza. Il generatore di tensione alternata è un trasformatore variabile con avvolgimenti separati; il generatore di tensione ad onda quadra è regolato su 1 kHz. Si pongono a zero volt le tensioni dei generatori.

b) Si pone il canale *X* su « esterno » e i canali *X* e *Y* su « DC ». Si porta il puntino luminoso al centro dello schermo mediante i comandi di posizione *X* e *Y*.

c) Si regola su 4 V l'ampiezza della tensione ad onda quadra e anche della tensione sinusoidale. Si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. 91 *b*.

d) Si esamini l'oscillogramma e si determini da esso la resistenza interna di *T*.

e) Si riscalda esternamente il transistore (senza oltrepassare i 75° C) e si osservino i risultati.

f) Si riduce dapprima la tensione ad onda quadra e poi la tensione sinusoidale e si osservino i risultati.

Spiegazione:

La tensione *Y* (su R_3) rappresenta la corrente di collettore; la tensione *X* è la tensione di collettore. L'oscillogramma mostra due caratteristiche corrente di collettore-tensione di collettore. La traccia più bassa coincide quasi con l'asse *X*; la corrispondente corrente di base è solo di pochi microampere. La « resistenza interna » (punto *d*) è il rapporto fra una variazione di tensione di collettore e la corrispondente variazione di corrente di collettore, con corrente di base costante. Siccome la pendenza della traccia superiore è maggiore di quella inferiore, la resistenza interna risulta più piccola con alta corrente di base rispetto a quella con minore corrente di base. Quando la corrente di base di un transistore è zero, attraverso il circuito di collettore circolerà la corrente di dispersione. Questa corrente, che dipende fortemente dalla temperatura del transistore, costituisce la parte principale della corrente totale di collettore, quando la corrente di base è piccola. Pertanto la traccia superiore si sposterà maggiormente al variare della temperatura (punto *e*). Se l'ampiezza della tensione alternata viene ridotta (punto *f*) si ottiene sullo schermo una parte minore delle tracce. La riduzione della tensione ad onda quadra porta le due tracce più vicine l'una all'altra.

ESPERIMENTO 92: **SEMPLICE CIRCUITO INTEGRATORE**

Circuito:

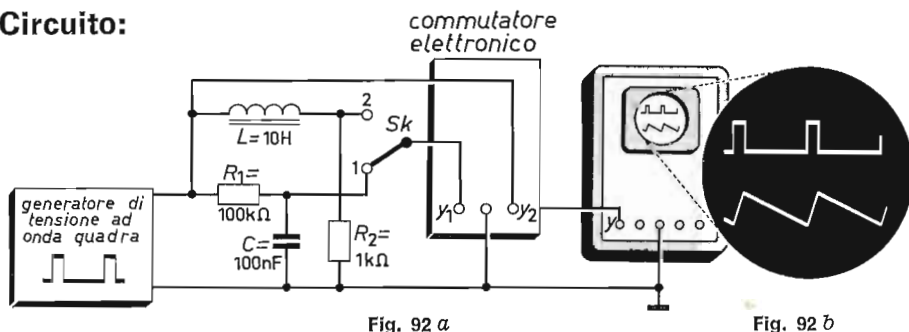



Fig. 92 *a* Fig. 92 *b*

Descrizione:

a) Si rende massima la tensione del generatore; si pone la frequenza di ripetizione su 1 kHz e il rapporto di impulso su 1 : 10. Si pone S_k sulla posizione 1.

b) Si pone il canale *X* su « interno » e si aumenta l'amplificazione di *Y* al massimo. Si regola la frequenza di commutazione del commutatore elettronico su 100 Hz e le posizioni Y_1 e Y_2 su zero. Si pongono le sensibilità Y_1 e Y_2 in modo che le due tracce abbiano la stessa altezza e si regola la velocità *X* in modo da ottenere oscillogrammi stabili.

c) Si fa in modo che le tracce si sovrappongano, impiegando i comandi di posizione Y_1 e Y_2 (vedi Fig. 92 *b*); si interpreti l'oscillogramma.

d) Si pone S_k sulla posizione 2. Si confrontino le nuove tracce con quelle del punto *c.*

Spiegazione:

Il commutatore elettronico applica i segnali Y_1 e Y_2, alternativamente, per 5 ms all'amplificatore *Y* dell'oscilloscopio, con opportune tensioni continue aggiunte per spostare verticalmente le tracce l'una rispetto all'altra. Le tracce superiore e inferiore si formano così alternativamente per 5 ms ciascuna. Una traccia rappresenta la tensione del generatore: una tensione ad onda quadra che è « alta » per 1/11 del periodo e « bassa » per 10/11 di tale periodo. Rispetto al valore medio, l'impulso positivo è quindi 10 volte più alto dell'impulso negativo. La tensione sul condensatore (traccia inferiore) tende costantemente ad autoadattarsi al nuovo livello di tensione; *C* viene alternativamente caricato attraverso R_1 da una certa corrente e scaricato da una corrente che è dieci volte più piccola. Pertanto il ritmo con cui la tensione Y_1 (S_k sulla posizione 1) aumenta è dieci volte maggiore di quello con cui questa tensione diminuisce. Quando S_k è sulla posizione 2, viene mantenuto lo stesso segnale Y_2 (la tensione del generatore). Il segnale Y_1 ora rappresenta la tensione su R_2 ed è quindi proporzionale alla corrente che attraversa la bobina. Siccome la corrente attraverso una bobina, così come la tensione su un condensatore, può variare solo gradualmente, la forma del segnale Y_1 è praticamente la stessa per entrambe le posizioni di S_k (vedi esperimenti 32 e 42). Entrambi i circuiti (L-R_2 e R_1-C) sono denominati « circuiti integratori ».

ESPERIMENTO 93: LA TENSIONE PRIMA E DOPO IL FILTRO DI SPIANAMENTO DI UN RETTIFICATORE

Circuito:

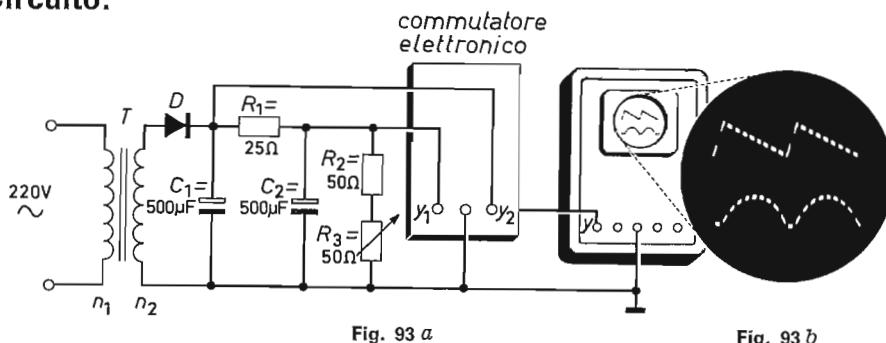



Fig. 93 *a* Fig. 93 *b*

Descrizione:

a) Il trasformatore T ha $n_1 : n_2 \approx 10 : 1$. Il diodo D deve condurre una corrente di picco di circa 2 A; la tensione di picco è circa 60 V. Si pone R_3 al massimo.

b) Si pone il canale X su « interno » e l'amplificazione Y al massimo. Si pone la frequenza di commutazione del commutatore elettronico su 500 Hz e i comandi di posizione Y_1 e Y_2 su zero. Si regola la sensibilità Y_1 e Y_2 fino ad ottenere due tracce egualmente alte e la velocità X fino ad ottenere oscillogrammi stabili.

c) Si determina il rapporto delle tensioni Y_1 e Y_2 (il « fattore di spianamento »).

d) Si fa in modo che le tracce appaiano una sull'altra, mediante i comandi di posizione Y_1 e Y_2 (Fig. 93 *b*). Si interpretino gli oscillogrammi.

e) Si porta R_3 al minimo e si osservino i risultati.

Spiegazione:

La frequenza di commutazione del commutatore elettronico è molto più alta della frequenza di ripetizione dei segnali Y_1 e Y_2. Pertanto, per 1 ms viene tracciato prima un elemento di una traccia e poi per 1 ms viene tracciato un elemento dell'altra traccia. Il segnale Y_2 (traccia superiore) rappresenta la tensione su C_1 (« condensatore filtro »). Il diodo conduce su ciascun « picco » positivo della tensione del trasformatore. L'impulso di corrente nel diodo circola prevalentemente sul condensatore C_1; C_1 viene così caricato (il tratto in salita della traccia superiore). Man mano che la tensione del trasformatore diminuisce, il diodo si interdice; C_1 parzialmente si scarica (parte discendente della traccia superiore). Se la tensione su C_1 diviene sensibilmente maggiore (minore) del suo valore medio, C_2 si carica (scarica) con una forte corrente. Se la tensione su C_1 si sposta solo leggermente rispetto al suo valore medio, la corrente che va a C_2 o che proviene da C_2 è piccola. Pertanto, quanto più alto (più basso) è il valore della tensione Y_2 (traccia superiore) rispetto al suo valore medio, tanto più rapidamente la tensione Y_1 (traccia inferiore) aumenta (diminuisce). I punti più alti e più bassi del segnale Y_1 avvengono perciò quando la tensione Y_2 assume il suo valore medio.

ESPERIMENTO 94: ESCURSIONE DI FREQUENZA DI UN SEGNALE FM (modulato in frequenza)

Circuito:

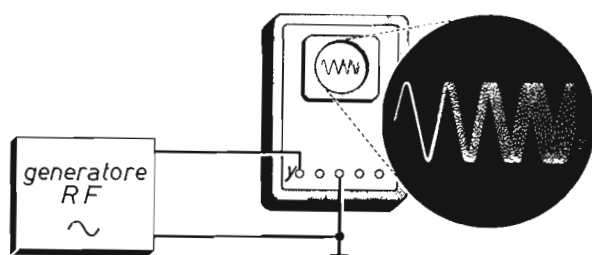



Fig. 94 *a* Fig. 94 *b*

Descrizione:

a) Si rende massima la tensione del generatore: 500 kHz « non modulata ».

b) Si pone su « interno » il canale *X*. Si regolano la velocità *X* e l'amplificazione *Y* fino ad ottenere un sufficiente numero di onde sullo schermo.

c) Si commuta il generatore su « FM » e si rende l'escursione di frequenza massima possibile. Si sincronizza la base dei tempi dell'oscilloscopio in maniera che l'oscillogramma inizi con una sola linea, si regola la velocità *X* fino a che la traccia « sfocata » a destra sull'oscillogramma copra metà di un ciclo (vedi Fig. 94 *b*).

d) Si studi l'oscillogramma. Si conta il numero di cicli e si misura il periodo medio. In base a ciò si determini l'escursione di frequenza del segnale FM in esame.

e) Si varia l'escursione di frequenza, se possibile, e si osservino gli oscillogrammi.

Spiegazione:

In un segnale modulato in frequenza (segnale FM) la radiofrequenza varia periodicamente in conformità con l'oscillazione di modulazione. La massima deviazione dalla frequenza centrale è denominata « escursione di frequenza ». Entro un ciclo dell'oscillazione di modulazione vengono presentate visivamente centinaia di tracce. Alcune di esse si hanno quando la frequenza del segnale FM è minima, altre quando la frequenza è massima, ma moltissime alla frequenza media. Nel primo caso appaiono sull'immagine poche onde complete rispetto a quando la frequenza è media, sicchè non tutte le tracce coincidono. Siccome tutte le tracce iniziano nello stesso tempo con un andamento ascendente, l'oscillogramma è nitido al principio e « sfocato » o meglio confuso sulla destra. La differenza di lunghezza d'onda dopo n onde della frequenza centrale è metà lunghezza d'onda. La differenza di lunghezza d'onda fra una delle frequenze estreme e la frequenza centrale è quindi metà della lunghezza d'onda dopo n onde della frequenza centrale e quindi $1/4\,n$ lunghezze d'onda dopo un'onda. L'escursione di frequenza è quindi $1/4\,n$ volte la frequenza centrale quando, dopo n onde, l'offuscamento è ampio metà di un'onda.

ESPERIMENTO 95: **RIVELAZIONE DI UN SEGNALE FM**

Circuito:

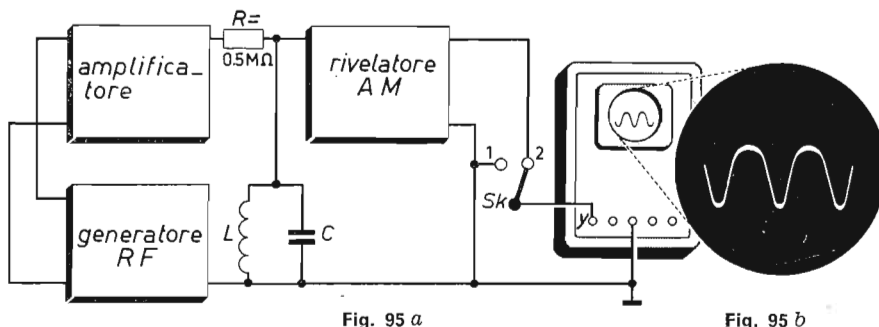



Fig. 95 *a* Fig. 95 *b*

Descrizione:

a) Si porta sul massimo la tensione del generatore: 450 kHz « non modulata ». La larghezza di banda dell'amplificatore è di 500 kHz; il circuito *LC* è accordato su 480 kHz. il rivelatore è quello dell'esperimento 75. Si pone S_k sulla posizione 1.

b) Si pone il canale *X* su « esterno » e il canale *Y su* « *DC* ». Si regola la posizione *Y* fino a che la traccia sia nella parte superiore dello schermo.

c) Si pone S_k sulla posizione 2. Si faccia in modo che la traccia appaia al centro dello schermo, impiegando l'amplificazione *Y*.

d) Si pone il generatore su « *FM* »; si porti al massimo l'escursione di frequenza (ma $\leq$ 30 kHz). Si regola la velocità *X* fino ad ottenere la traccia di Fig. 95 *b*.

e) Si misura il periodo e si osservi se esso è uguale a quello della tensione di modulazione.

f) Si pone il segnale FM su 480 kHz. Si osservino i risultati.

Spiegazione:

L'impedenza del circuito dipende dalla frequenza (esperimento 54). Quando la frequenza della corrente alternata applicata è quasi sul valore di risonanza, la tensione del circuito è maggiore rispetto a quando la frequenza è diversa da quella di risonanza. Quando la corrente alternata è non modulata, la tensione sul circuito ha un'ampiezza costante. Il rivelatore (esperimento 75) fornisce allora una tensione continua (punto *c*). Quando la tensione del generatore è modulata in frequenza, l'ampiezza della tensione sul circuito varia in conformità con le variazioni di frequenza. Siccome però l'impedenza del circuito non varia linearmente con la frequenza (esperimento 96), la variazione di ampiezza della tensione del circuito non è identica alla variazione di frequenza della tensione del generatore. La variazione della tensione continua fornita dal rivelatore (punto *e*) corrisponde solo nel ritmo (ma non nella forma) alla variazione di frequenza della tensione del generatore. Ciò significa che la informazione ricavata dal segnale FM è « distorta ». Quando la frequenza del segnale FM oscilla fra sopra e sotto quella di risonanza (punto *f*) l'impedenza del circuito diviene alta e bassa due volte per ogni ciclo completo di modulazione. La frequenza con la quale la tensione *Y* varia è quindi doppia di quella con la quale si sposta la frequenza del segnale FM.

ESPERIMENTO 96: CAMPO DI FREQUENZA DI UN CIRCUITO OSCILLANTE

Circuito:

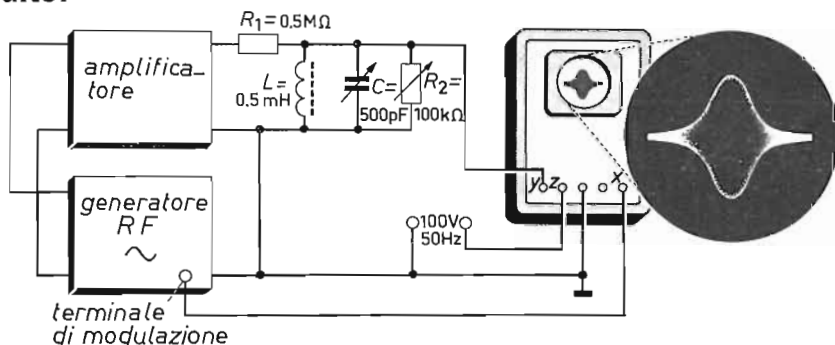



Fig. 96 *a* Fig. 96 *b*

Descrizione:

a) Si pone il generatore su « non modulato ». Si porta sul massimo la tensione, si regola la frequenza su 450 kHz. La larghezza di banda dell'amplificatore è di 500 kHz. Si porta R_2 su 100 kΩ. La tensione *Z* viene ricavata da un trasformatore di rete.

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « esterno ». Si regola il condensatore *C* fino a rendere massima l'altezza dell'immagine; se necessario, si regola l'amplificazione *Y*.

c) Si pone il generatore su « *FM* », con frequenza di modulazione di 50 Hz e Δf massima. Si regolano le amplificazioni *X* e *Y* fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 96 *b* (se appare una doppia traccia si riduca l'intensità della traccia).

d) Si studi l'oscillogramma rilevando cosa avviene in corrispondenza della risonanza del circuito oscillante.

e) Si regola R_2 su alcuni valori più bassi e si studino gli oscillogrammi.

Spiegazione:

La frequenza del generatore (punto *c*) varia da un valore più basso di quello di risonanza a un valore più alto. La frequenza con la quale ciò avviene (50 Hz) è la stessa della frequenza di scansione del pennello elettronico. Durante un ciclo completo di modulazione il punto di risonanza viene oltrepassato due volte (una volta quando il segnale FM va dalla frequenza minima alla massima, l'altra quando la frequenza ritorna al suo valore originario). Mentre il pennello elettronico si muove verso destra, la impedenza del circuito diviene ad un certo momento massima. Ciò avviene anche quando il pennello elettronico ritorna a sinistra. Siccome il pennello elettronico viene interdetto per metà del tempo dalla tensione *Z*, che varia sincronicamente con la deflessione orizzontale, si ha una sola immagine sullo schermo: un segnale ad alta frequenza avente ampiezza variabile. L'escursione di frequenza è proporzionale all'ampiezza della tensione *X*. Pertanto, l'asse *X* dell'oscillogramma può essere considerato come asse delle frequenze. La larghezza della traccia corrisponde così al doppio dell'escursione di frequenza. L'ampiezza della tensione *Y* è proporzionale all'impedenza del circuito. L'inviluppo dell'oscillogramma rappresenta dunque l'impedenza del circuito al variare della frequenza.

ESPERIMENTO 97: CAMPO DI FREQUENZA DI UNA COPPIA DI CIRCUITI OSCILLANTI ACCOPPIATI

Circuito:

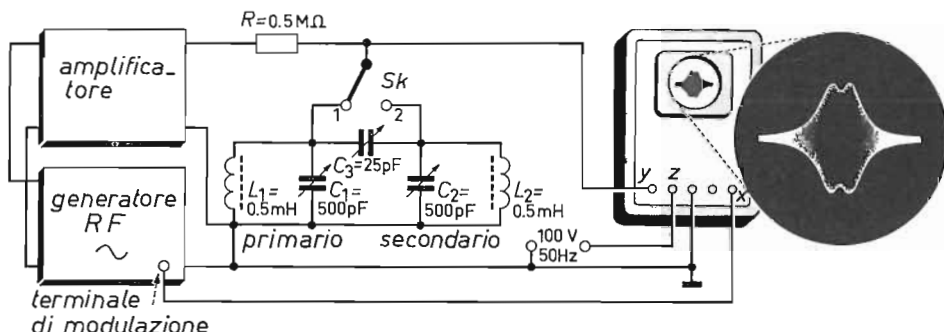



Fig. 97 *a* Fig. 97 *b*

Descrizione:

a) Si porta sul massimo la tensione del generatore (non modulato); frequenza 450 kHz. La larghezza di banda dell'amplificatore è di 500 kHz. Si riduce al minimo C_3; S_k sulla posizione 2.

b) Si pone il canale *X* su « esterno ». Si varia il condensatore C_2 fino ad ottenere la massima altezza dell'immagine. Successivamente, si pone S_k sulla posizione 1 e si regola C_1 fino a che l'altezza dell'immagine risulti massima (se necessario, si regola l'amplificazione *Y*).

c) Si modula la tensione a RF (FM; Δf massimo; frequenza di modulazione 50 Hz). Si pone l'amplificazione *X* e *Y* su qualunque valore desiderato. Si aumenta C_3 fino a che l'oscillogramma sia come in Fig. 97 *b* (si diminuisca l'intensità in modo che la tensione *Z* lavori efficacemente). Si interpreti il minimo nell'oscillogramma.

d) Si aumenta e si diminuisce C_3; si osservino i risultati.

Spiegazione:

Nel punto *b*, il circuito L_2-C_2 (S_k sulla posizione 2) e il circuito L_1-C_1 (S_k sulla posizione 1) sono accordati su 450 kHz. Quando C_3 è minimo, il circuito secondario non ha praticamente alcun effetto; l'oscillogramma (S_k sulla posizione 1) è quasi identico a quello dell'esperimento 96 (la tensione sul secondario è allora bassa). Quando C_3 viene aumentato, l'effetto del circuito secondario diventa evidente, specialmente sul punto di risonanza; ciò è dovuto al fatto che il consumo di potenza del circuito secondario è allora massimo. Specialmente alla risonanza, il circuito secondario introduce perdite elevate nel circuito primario, che sono maggiori quanto maggiore è l'accoppiamento (C_3). L'altezza dell'oscillogramma durante la risonanza diminuisce man mano che C_3 aumenta. Quando viene raggiunto l'accoppiamento critico, questa altezza diviene metà; le perdite del circuito primario sono uguali a quelle del circuito secondario; le correnti nei due circuiti, e quindi le tensioni sui due circuiti, sono identiche. Vi è il massimo trasferimento di energia; il 50 % della potenza applicata attraverso *R* va al circuito secondario. Ad una certa distanza rispetto alla risonanza, la tensione sul circuito primario è più alta con questo grado di accoppiamento, poichè la resistenza introdotta è molto più bassa (punto *c*). Se l'accoppiamento viene ulteriormente aumentato, la tensione al primario alla risonanza diminuisce ulteriormente.

ESPERIMENTO 98: OSSERVAZIONE DELLE BANDE LATERALI DI UN SEGNALE AM

Circuito:

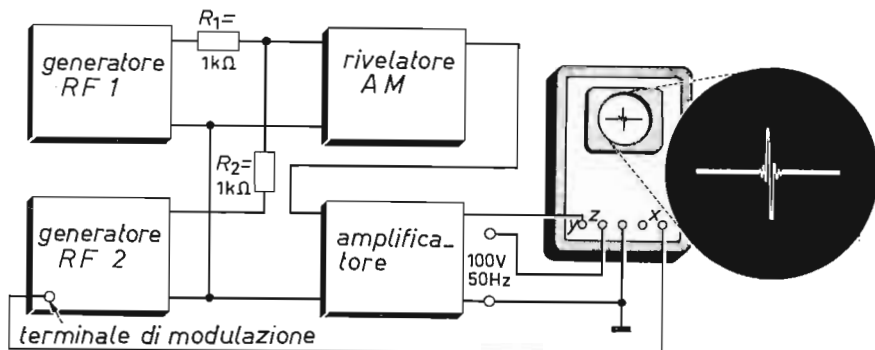



Fig. 98 *a* Fig. 98 *b*

Descrizione:

a) Si pongono le frequenze di due generatori a RF su 10 MHz e si rendono massime le loro tensioni. Si pone il generatore 1 su « non modulato » e il generatore 2 su FM (Δf massima; frequenza di modulazione 50 Hz). La tensione Z è ricavata da un trasformatore di rete. Il rivelatore AM è quello dell'esperimento 75. La larghezza di banda dell'amplificatore è di 1 kHz.

b) Si pone il canale X su « esterno ». Si regolano le amplificazioni X e Y fino ad ottenere l'oscillogramma di Fig. 98 *b* (se si hanno due « picchi », si riduca l'intensità in modo che la tensione Z funzioni efficacemente).

c) Si studi l'oscillogramma; se necessario si aumenti temporaneamente l'amplificazione X.

d) Si pone il generatore 1 su AM (scegliendo una frequenza di modulazione più bassa rispetto alla frequenza di deviazione del generatore 2). Risulteranno visibili sullo schermo due nuovi « picchi ».

Spiegazione:

Se la differenza di frequenza dei segnali dei generatori è piccola, l'uscita del rivelatore varierà secondo tale differenza di frequenza (esperimento 76). L'amplificatore accresce questa tensione di uscita, dato che la frequenza di questa non supera alcuni chilohertz. Pertanto vi è una tensione Y a bassa frequenza se la differenza di frequenza dei segnali a RF è più piccola di alcuni kHz, ossia, in pratica, se le frequenze sono quasi identiche. Nel punto *b* ciò avviene due volte per ogni ciclo FM. Siccome il pennello elettronico percorre lo schermo una sola volta durante tale tempo, la traccia venendo soppressa dalla tensione Z durante il periodo di andata oppure quello di ritorno, verrà presentata visivamente una sola traccia, sotto forma di una riga orizzontale con una « ondulazione » su di essa. Quando l'ondulazione è completamente a sinistra, la frequenza del segnale non modulato è uguale a quella di una frequenza estrema del segnale FM. Se essa è completamente a destra, la frequenza del segnale non modulato è uguale all'altra frequenza estrema del segnale FM. Pertanto, questa ondulazione sulla riga orizzontale (asse delle frequenze) serve come marker (marcatore). Nel punto *d* si hanno tre di questi marker sullo schermo, e ciò significa che il segnale AM consiste di 3 segnali a radiofrequenza non modulati: l'onda portante e le due bande laterali.

ESPERIMENTO 99: IL SEGNALE VIDEO DURANTE UNA SCANSIONE ORIZZONTALE

Circuito:

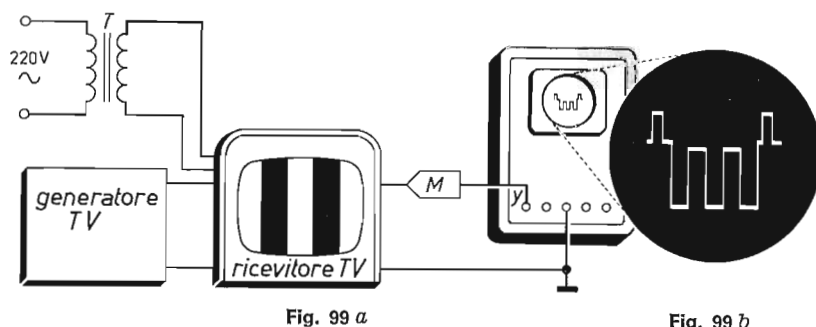



Fig. 99 *a* Fig. 99 *b*

Descrizione:

a) Si alimenta il televisore tramite un trasformatore di isolamento *T*; i terminali di antenna sono collegati ad un generatore TV; il catodo del cinescopio è collegato attraverso la sonda *P* al canale *Y* dell'oscilloscopio.

b) Si accende il televisore. Si modula la tensione del generatore con un segnale a « barre verticali »; si regolano l'ampiezza e la frequenza del segnale televisivo fino a fare apparire sullo schermo del televisore un'immagine a barre (Fig. 99 *a*).

c) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su « interno ». Si regola la velocità *X* (frequenza *X* circa 15 kHz) e l'amplificazione *Y* fino a vedere la traccia di Fig. 99 *b*.

d) Si misura il periodo della riga; esso è l'intervallo fra i punti iniziali aventi il massimo livello.

e) Si varia il contrasto del televisore; si osservino i risultati.

Spiegazione:

L'immagine televisiva nel sistema europeo a 625 righe viene realizzata in 40 ms. Un periodo di riga dura 64 μs (punto *d*). La parte utile di una riga di scansione è di circa 53 μs; nei rimanenti 11 μs il cinescopio del televisore è interdetto (se il televisore è correttamente regolato). Durante questi intervalli di 11 μs il pennello elettronico del cinescopio ha la possibilità di ritornare dalla estremità destra di una riga all'inizio della riga successiva. Questo « ritorno » è avviato dal bordo in salita dell'impulso di sincronismo di riga; nella Fig. 99 *b* questo è la linea verticale che precede il livello più alto. Il livello comincia 1 μs dopo la scansione della parte utile di una riga. In seguito, il cinescopio rimane interdetto (oscuro) per altri 10 μs, trascorsi i quali comincia la parte utile di una nuova riga. L'impulso di sincronismo (livello massimo) dura circa 5 μs. Il livello più basso dell'oscillogramma corrisponde alle parti più luminose delle righe; i livelli più alti nel segnale utile di immagine corrispondono alle parti più scure. L'ampiezza del segnale video applicata al cinescopio può essere variata mediante il comando di contrasto.

ESPERIMENTO 100: IL SEGNALE VIDEO DURANTE UNA SCANSIONE VERTICALE

Circuito:

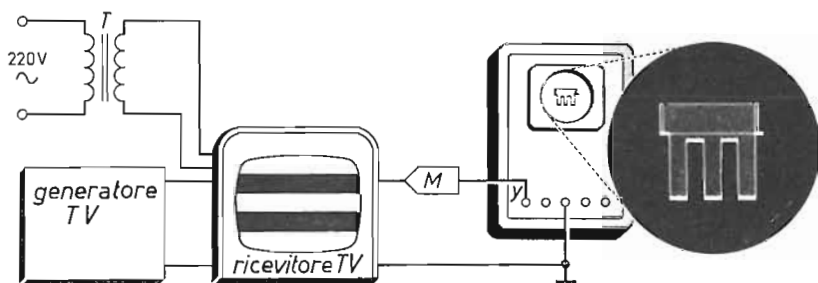



Fig. 100 *a* Fig. 100 *b*

Descrizione:

a) La tensione di alimentazione del televisore è ricavata mediante un trasformatore di isolamento *T*. Il generatore TV è collegato ai terminali di antenna del televisore; la sonda *P* è collegata al catodo del cinescopio.

b) Si sintonizza il televisore sul segnale del generatore. Si modula la tensione del generatore mediante un segnale di « barra orizzontale »; si regola il segnale televisivo fino ad ottenere sullo schermo del televisore il diagramma di Fig. 100 *a*.

c) Si pone il canale *X* su « interno ». Si regolano la velocità *X* (frequenza $X = 50$ Hz) e l'amplificazione *Y* fino ad ottenere sull'oscilloscopio la traccia di Fig. 100 *b*.

d) Si confronti l'oscillogramma con l'immagine sul cinescopio (si noti il numero di barre).

e) Si commuta il televisore su una stazione televisiva. Si osservi l'oscillogramma.

Spiegazione:

L'immagine televisiva (nel sistema europeo a 625 righe) viene completata in 40 ms. Prima vengono tracciate tutte le righe di ordine dispari e poi le righe di ordine pari; questo è il principio della scansione interlacciata. Pertanto, per ottenere una completa immagine televisiva, il pennello elettronico si deve muovere dall'alto in basso due volte; l'immagine consiste di due quadri, ciascuno avente una durata di 20 ms. La parte utile di un periodo di scansione di quadro è di circa 18,4 ms; nei rimanenti 1,6 ms il cinescopio è interdetto (se il televisore funziona correttamente). Durante questo tempo di 1,6 ms avviene il segnale di cancellazione di quadro. Questo segnale è una sequenza piuttosto complicata di impulsi stretti e larghi che fanno sì che le 25 righe « invisibili » comincino all'istante esatto e che anche ciascun nuovo quadro cominci all'istante esatto. In corrispondenza dei livelli più bassi dell'oscillogramma (Fig. 100 *b*) l'immagine televisiva è più luminosa; in corrispondenza dei livelli più alti (punto *d*) l'immagine televisiva è meno luminosa. Il livello massimo corrisponde agli impulsi di sincronismo e di cancellazione. Nel caso di immagini televisive in movimento (punto *e*) si vedrà che la forma delle parti inferiori dell'oscillogramma varia; gli impulsi di sincronismo e di cancellazione rimangono però invariati.

ESPERIMENTO 101: **TEMPO DI SALITA DELL'AMPLIFICATORE Y DI UN OSCILLOSCOPIO**

Circuito:

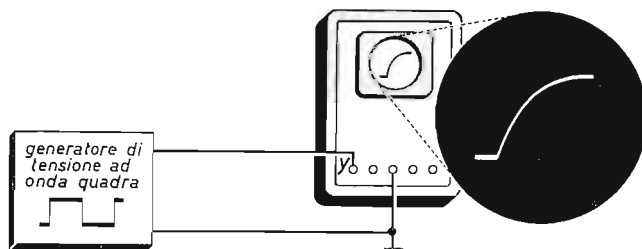



Fig. 101 *a* Fig. 101 *b*

Descrizione:

a) Si pone il generatore di tensione su 1 V, frequenza 1 kHz e rapporto d'impulso 1 : 1. Il tempo di salita della tensione ad onda quadra deve essere molto minore di quello dell'amplificatore *Y* (vedansi i dati tecnici dell'oscilloscopio e del generatore).

b) Si pone il canale *X* dell'oscilloscopio su interno. Si regolano la velocità *X* e l'amplificazione *Y* fino a ottenere sullo schermo un'onda quadra di sufficiente altezza.

c) Si osservi l'oscillogramma; si noti la ripidità dei bordi, usando la massima intensità.

d) Si rende massima la velocità *X*. Si regola la frequenza della tensione ad onda quadra fino ad ottenere una traccia come quella di Fig. 101 *b* (se necessario, si usi il sincronismo esterno).

e) Si misuri l'intervallo di tempo fra 0,1 e 0,9 della massima altezza della traccia. Si confronti questo risultato con il tempo di salita per l'amplificatore *Y* risultante dai dati tecnici dell'oscilloscopio.

Spiegazione:

Una tensione ideale ad onda quadra applicata ad un canale *Y* ideale dà luogo a una traccia nella quale si possono distinguere solo due livelli. Il salto da un livello all'altro non richiede alcun tempo e conseguentemente risulta invisibile. Il salto fra i livelli di una tensione reale ad onda quadra richiede invece un certo tempo. Inoltre, una tensione ad onda quadra, anche se fosse ideale, non potrebbe essere accuratamente rappresentata dall'oscilloscopio La difficoltà deriva dal fatto che la tensione su capacità parassite (per esempio la capacità delle placchette di deflessione) non può fare salti (vedi esperimento 35). Questa difficoltà si manifesta anche nei circuiti dimensionati con cura, come quelli usati negli oscilloscopi. Il tempo di salita è importante. Esso viene definito come il tempo nel quale l'oscillogramma sale dal 10 % sopra il livello minimo al 10 % sotto il livello massimo, quando viene applicata al canale *Y* una tensione ideale ad onda quadra. Questo tempo di salita viene misurato nel punto *e*, supponendo che il salto di tensione del generatore abbia una durata molto più breve rispetto al corrispondente salto di tensione dell'oscilloscopio.